

Stacked RF excitation coil for inductive plasma processor

Publication number: JP2004532504 (T)

Publication date: 2004-10-21

Inventor(s):

Applicant(s):

Classification:

- **international:** H05H1/46; H01J37/32; H01L21/205;
H01L21/3065; H05H1/46; H01J37/32;
H01L21/02; (IPC1-7): H05H1/46;
H01L21/205; H01L21/3065

- **European:** H01J37/32H1D

Application number: JP20020578536T 20020329

Priority number(s): US20010821752 20010330;
WO2002US09563 20020329

Also published as:

US2002140359 (A1)

US6527912 (B2)

WO20080219 (A1)

WO20080219 (B1)

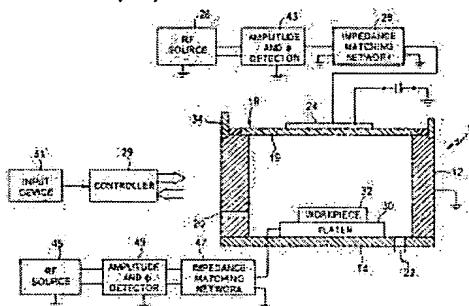
TW535460 (B)

Abstract not available for JP 2004532504 (T)

Abstract of corresponding document: US 2002140359 (A1)

A radio frequency excitation coil of an inductive plasma processor includes a planar turn connected in series with a segment of the coil stacked above a portion of the planar turn. The stacked segment is placed around a region having weak radio frequency coupling to plasma due to azimuthal asymmetries in the chamber and/or the excitation coil. In a single winding embodiment, the stacked segment is close to an interconnection gap between two adjacent planar turns and extends in both directions from the gap to compensate low radio frequency coupling to plasma in the gap region. In an embodiment including two electrically parallel spatially concentric windings, the stacked segment extends beyond one side of an interconnection gap of two adjacent turns, and is aligned with the planar turn such that one end of the stacked segment is directly connected to an end of the planar turn via a straight, short stub.

Terminals of the coil are connected to RF excitation circuitry terminals in a housing above the coil by leads extending smoothly and gradually without sharp bends between the coil terminals and the excitation circuitry terminals. Ends of the planar turn and the stacked segment are connected by a lead extending smoothly and gradually without sharp bends between its ends.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

Serial No. 10/748,277
Filed: December 31, 2003
Attorney Docket 249/409

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号
特表2004-532504
(P2004-532504A)
2016年10月21日(2004.10.21)

(43) 公表日 平成16年10月21日(2004.10.21)

(51) Int.Cl.⁷
H05H 1/46
H01L 21/205
H01L 21/3065

F 1
HO5H 1/46 L
HO1L 21/205
HO1L 21/302 1.01C

テーマコード (参考)
5FO04
5FO45

查謂來 未謂來 予備審查謂求 有 (全 51 夏)

(21) 出願番号	特願2002-578536 (P2002-578536)
(86) (22) 出願日	平成14年3月29日 (2002. 3. 29)
(85) 翻訳文提出日	平成15年9月29日 (2003. 9. 29)
(86) 國際出願番号	PCT/US2002/009563
(87) 國際公開番号	W02002/080219
(87) 國際公開日	平成14年10月10日 (2002. 10. 10)
(31) 優先権主張番号	09/821, 752
(32) 優先日	平成13年3月30日 (2001. 3. 30)
(33) 優先権主張國	米国 (US)

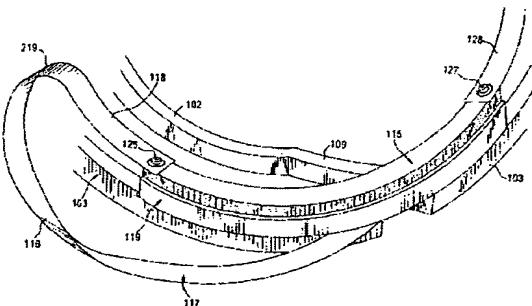
(71) 出願人 592010081
ラム リサーチ コーポレーション
LAM RESEARCH CORPORATION
アメリカ合衆国、カリフォルニア 950
38, フレモント, クッシング パークウ
エイ 4650
(74) 代理人 100069981
弁理士 吉田 精孝
(72) 発明者 ジエン ジェイ チェン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
555 フレモント ヴェイン コモン
34561

最終頁に統ぐ

(54) 【発明の名称】 誘導プラズマ処理装置用の積重ねRF励起コイル

(57) 【要約】

誘導プラズマ処理装置の無線周波数励起コイルは、平面旋回（103）であって、この平面旋回の一部分の上に積み重ねられたコイルのセグメント（115）と直列に接続された平面旋回を含む。この積重ねセグメントは、チャンバおよび／または励起コイル内の方位角非対称性のせいでプラズマへの無線周波数結合が弱い領域の周りに配置される。単一巻線の一実施形態においては、積重ねセグメントは、2つの隣接する平面旋回間の相互接続間隙に近接すると共に、この間隙から両方向に延びて、間隙領域内のプラズマへの低い無線周波数結合を補償する。2つの電気的に並列で空間的に同心の巻線を含む一実施形態においては、積重ねセグメントは、2つの隣接旋回の相互接続間隙の片側を越えて延びると共に、積重ねセグメントの一端がまっすぐで短いスタブを介して平面旋回の一端に接続されるように、平面旋回と位置合わせされている。コイルの端子（111）は、コイルの上のハウジング内のR F 励起回路（28）端子に、コイル端子と励起回路端子との間で滑らか、かつゆるやかに急な湾曲部なしに延びるリード線（128）によって接続



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空プラズマ処理装置用の無線周波数プラズマ励起コイルであって、コイルが処理装置の真空チャンバの窓の上方に位置するように配設され、コイルが複数の旋回を有する少なくとも1つの巻線を備え、少なくとも1つの旋回が実質的に平面状であり、一つのセグメントが、1つの旋回の一部分だけを積み重ねられて、1つの旋回の面から間隔を空けられており、積重ねセグメントが1つの旋回と直列に接続され、それによって1つの旋回と積重ねセグメントを通過して同一の電流が同一方向に流れる、コイル。

【請求項 2】

セグメントが、励起供給源の端子に接続するか、または終端キャパシタを介して接地に接続するための第1の端子と、1つの巻線に接続された第2の端子とを含む、請求項1に記載のコイル。 10

【請求項 3】

第2の端子が、第2の端子と実質的に位置合わせされた1つの旋回の部分に接続されている、請求項2に記載のコイル。

【請求項 4】

第2の端子が、積重ねセグメントの第1と第2の端子の間で、積重ねセグメントの一部分を積み重ねた、1つの旋回の部分に接続されている、請求項2に記載のコイル。

【請求項 5】

積重ねセグメントと1つの旋回の一部分との接続を確立する金属リード線をさらに含み、金属リード線が、第2端子および1つの旋回の部分にそれぞれ接続された第1と第2の部分を有するループを含み、ループの第1の部分が1つの旋回のいくらかの部分と概して位置合わせされて、第2の端子から延びており、ループの第2の部分が1つの旋回から概して位置ずれしている、請求項4に記載のコイル。 20

【請求項 6】

コイルおよびチャンバの少なくとも1つが、プラズマ濃度に方位非対称分布を生じさせる傾向のある形状を有し、積重ねセグメントが、コイルからプラズマの個別の領域までの誘導結合を増大するように配置され、その結果、方位非対称分布を低減する、請求項1から5のいずれかに記載のコイル。

【請求項 7】

真空プラズマ加工物処理装置用の無線周波数励起コイル装置であって、コイル装置が、処理装置の真空チャンバの平面窓の外側で、かつ窓に十分に接近して設置するように適合され、その結果、窓を介して電磁エネルギーをチャンバ内に結合すると共に、コイル装置が、少なくとも1つの窓を備え、窓の反対側の第1および第2の端部が平面であり、巻線が、窓の外側に設置されて電磁エネルギーをチャンバ内に結合するとき、その両端部が平面窓と実質的に平行に延びるように配置されており、第1および第2の励起端子が、R F プラズマ励起供給源と巻線の両端部との間に流れる電流のための接続を提供し、第1の金属接続構造が、第1の励起端子に接続された第1の端部と、巻線の第1の端部に接続された第2の端部を有し、第2の金属接続構造が、第2の励起端子に接続された第1の端部と、巻線の第2の端部に接続された第2の端部とを有し、第1および第2の金属接続構造が、ゆるやか、かつ滑らかに鋭い端部を有することなくその両端間に延びている、無線周波数励起コイル装置。 40

【請求項 8】

巻線の端部に接続された接続構造の端部が、巻線の端部と同一平面である、請求項7に記載の無線周波数励起コイル装置。

【請求項 9】

巻線が少なくとも1つの平面旋回を含み、巻線が、窓の外側に設置されて電磁エネルギーをチャンバ内に結合するとき平面旋回が平面窓に実質的に平行に延びるように、配置されており、巻線が、平面旋回の一部分に対して積み重ねたセグメントを含み、この積重ねセグメントが平面旋回の面から変位されており、積重ねセグメントが第1の端部を有し、平 50

面旋回が第1の端部を有し、第3金属接続構造が、積重ねセグメントの第1の端部と平面旋回の第1の端部にそれぞれ接続された第1および第2の端部を有し、第3の金属接続構造がゆるやか、かつ滑らかに急な湾曲部を有することなくその両端間で延びている、請求項7または8に記載の無線周波数励起コイル装置。

【請求項10】

真空プラズマ加工物処理装置用の無線周波数励起コイルであって、コイルが処理装置の真空チャンバの窓の上方に位置するように配設され、コイルが複数の旋回を有する少なくとも1つの巻線を備え、旋回の少なくとも1つが、実質的に平面であり、セグメントに平面旋回の一部分のみが積み重ねられており、その結果、セグメントが平面旋回の面から間隔を空けられており、この積重ねセグメントが平面旋回と接続され、金属接続構造が、平面旋回の第1の端部と積重ねセグメントの端部とにそれぞれ接続された第1および第2の端部を有し、接続構造がその第1および第2の端部間で、ゆるやか、かつ滑らかに急な湾曲部を有することなく延びるように配設されている、無線周波数励起コイル。

10

【請求項11】

平面旋回の第1の部分が平面旋回の第1の端部にある、請求項10に記載のコイル。

【請求項12】

積重ねセグメントが、巻線の2つの平面旋回間の相互接続間隙を横断し、かつ間隙の両側方向に延びる、請求項10または11に記載のコイル。

20

【請求項13】

金属接続構造が、間隙から離れて平面旋回の第1の端部からループを描く、請求項10から12のいずれかに記載のコイル。

【請求項14】

金属接続構造が、間隙から離れて平面旋回の第1の端部からループを描き、その結果、間隙から離れる方向に、積重ねセグメントの端部よりも間隙から遠い位置まで延びる、請求項10から12のいずれかに記載のコイル。

30

【請求項15】

金属接続構造の第2の端部が、積重ねセグメントの端部に対して接線方向に延びている、請求項10から14のいずれかに記載のコイル。

【請求項16】

真空プラズマ加工物処理装置用の無線周波数励起コイルであって、コイルが処理装置の真空チャンバの窓の上方に位置するように配設され、コイルが複数の旋回を有する少なくとも1つの巻線を有し、旋回の少なくとも1つが、実質的に平面であり、少なくとも1つの巻線のセグメントに平面旋回の一部分が積み重ねられ、その結果、平面旋回の面から間隔を空けられており、積重ねセグメントが平面旋回と接続され、平面旋回が、空間的に互いに接近し、間隙によって互いに間隔を空けられている第1および第2の部分を含み、積重ねセグメントが間隙を横断して延びて、その結果、積重ねセグメントの第1および第2の端部が、間隙の反対側にある、無線周波数励起コイル。

40

【請求項17】

積重ねセグメントの第1および第2の端部が、間隙からほぼ等しい角度で変位されている、請求項16に記載のコイル。

50

【請求項18】

積重ねセグメントの第1および第2の端部が、第1の端部の間隙からの角度変位よりも実質的に大きい、間隙からの角度変位を第2の端部が有するように、配設されている請求項16に記載のコイル。

【請求項19】

積重ねセグメントの第1の端部と、間隙の上にある積重ねセグメントの一部との間で、積重ねセグメントの第1の端部を積み重ねた平面旋回の一部分と平面旋回の第1の端部との間の平面旋回中に電流が流れると同一の方向に、電流を流すように、積重ねセグメントが配設されて、その第1の端部が平面旋回の第1の端部に接続されている、請求項16から18のいずれかに記載のコイル。

【請求項 20】

平面旋回の第1の端部と積重ねセグメントの第1の端部との間の接続が、平面旋回の第1の端部と積重ねセグメントの第1の端部との間で、滑らか、かつゆるやかに急な湾曲部を有することなく延びる接続構造によって提供される、請求項19に記載のコイル。

【請求項 21】

接続構造が、平面旋回の第1の端部と積重ねセグメントの第1の端部に位置合わせされた平面旋回の面の上の領域との間に空間的に延びるその第1の部分内に、積重ねセグメントの第1の端部を重ねた平面旋回の部分と平面旋回の第1の端部との間の平面旋回内の電流の流れの方向とは反対の方向に電流を流すように、配設されている、請求項20に記載のコイル。

10

【請求項 22】

接続構造および積重ねセグメントが、接続構造を重ねた平面旋回の部分と間隙の両側の積重ねセグメントに電流が流れるのと同じ方向に電流が流れるように、配設されている、請求項20に記載のコイル。

【請求項 23】

平面旋回の第1の端部と積重ねセグメントの第1の端部との間の接続が、接続構造によって提供され、この接続構造が、平面旋回の第1の端部と積重ねセグメントの第1の端部と位置合わせされた平面旋回の面の上方の領域との間に空間的に延びるその第1の部分内の電流が、積重ねセグメントの第1の端部を重ねた平面旋回の部分と、平面旋回の第1の端部との間の平面旋回内に流れる電流の方向とは反対の方向に流れるように、配設されている、請求項19に記載のコイル。

20

【請求項 24】

積重ねセグメントが、間隙の両端で接続構造および積重ねセグメントを重ねた平面旋回の部分内で流れる電流と同じ方向に、積重ねセグメント内で電流が流れるようにするために、平面旋回の第1の端部に接続されている、請求項19に記載のコイル。

【請求項 25】

請求項1から24、および26のいずれかに記載のコイルを含み、コイルがチャンバ外で、かつ窓に近接して配置されている、真空プラズマ加工物処理装置。

【請求項 26】

セグメントに平面旋回の一部分だけが積み重ねられる、請求項16から24のいずれかに記載のコイル。

30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は一般にR F プラズマ励起コイルを備える誘導プラズマ処理装置に関し、より詳細には、平面旋回 (planar turn) に電気的に接続された平面巻線セグメント (planar winding segment) を含むコイルを備え、セグメントが平面旋回の一部分に対して垂直方向に積み重ねられているような処理装置に関する。本発明の別の態様は、第1の面にあって、第2の面に端部を有する旋回または部分旋回と接続された端部を有する平面旋回を有する、巻線を備えたコイルを含む処理装置であって、第1および第2の面から間隔を空けたR F 励起端子からコイルが駆動され、旋回端部が、接続構造の両端間に滑らか、かつゆるやかに急な湾曲部を有することなく延びる接続構造によって、(1) 互いに、かつ／または(2) 励起端子に接続されている処理装置に関する。

40

【背景技術】**【0002】**

真空チャンバ内でR F プラズマを用いて加工物を処理する処理装置の一形式は、コイル上方のハウジング内に位置する端子間に垂直に延びるリード線によってR F 供給源に応答性を有して接続されたコイルを含む。このコイルは、通常、平面形、球形またはドーム形であり、R F 供給源で駆動されてチャンバ内のイオン化可能な気体をプラズマに励起する電磁場を生成する。コイルを励起源に接続するリード線 (lead) は、コイルの端子と直

50

角に交差する。通常、このコイルは誘電体窓上にあるかそれに隣接しており、この誘電体窓は加工された加工物の水平に延びる平らな表面に概して平行な方向に延びている。励起されたプラズマは、チャンバ内の加工物と相互作用して、加工物をエッティングするか、またはその上に物質を堆積させる。この加工物は、一般的には、平らな円形表面を有する半導体ウエハか、または固体誘電体プレート、例えばフラット・ディスプレイに使用される長方形ガラス基板または金属プレートである。

【0003】

Ogleの米国特許第4,948,458号は、上記の結果を達成するための多重旋回スパイラル平面コイルを開示している。このスパイラルは、一般にアルキメデス型であり、インピーダンス・マッチング・ネットワークを介してRF供給源に接続されたその内部端子および外部端子の間で、半径方向かつ円周方向に延びる。このようなコイルは、磁場成分および電場成分を有する振動RF場を生成し、これが誘電体窓を貫通して窓に近いプラズマ・チャンバの部分において電子およびイオンを励起する。窓に近いプラズマ部分における磁場の空間分布は、コイルの各点における電流によって生成される個々の磁場成分の合計の関数である。電場の誘導成分は、時間変動磁場によって生成されるのに対して、電場のキャパシタンス成分はコイル中のRF電圧によって生成される。誘導電場は、加工物に対して方位方向(azimuthal)であるのに対して、キャパシタンス電場は垂直方向である。電流および電圧は、RF供給源の周波数におけるコイルの伝送線路効果が原因で、場所によって異なる。

【0004】

Ogle'458号特許が開示し、かつそれに基づくスパイラル設計に対して、スパイラル・コイル中のRF電流は、トロイダル形電場を生成するように分布し、窓の近傍のトロイダル・プラズマを生じ、この場所は、電力がガスに吸収されて気体をプラズマに励起する場所である。トロイダル形磁場は、トロイダル形プラズマ分を生成する、リング形電場によって達成される。1.0から10ミリトル範囲の低圧力において、プラズマ濃度がピークとなるトロイダル形領域からのプラズマの拡散は、プラズマの非均一性を不鮮明化し(smeared out)、加工物の中心直上のチャンバ中央でのプラズマ密度を増加させる傾向がある。しかしながら、一般に拡散のみでは十分にチャンバ壁へのプラズマ損失を補償することができず、また加工物周囲付近のプラズマ密度を独立して変化させることができない。10～100ミリトルの中間圧力範囲においては、プラズマ中の電子、イオンおよび中性子の気相衝突によって、トロイダル領域からのプラズマ荷電粒子の実質的な拡散がさらに妨げられる。その結果、加工物のリング形領域ではプラズマ密度は比較的高いが、加工物の中央部分および周辺部分ではプラズマ密度が低くなる。

【0005】

このような異なる作動状態に起因して、トロイド内側とトロイド外側の間と共に、加工物ホルダの面に直角であるチャンバの中心線(すなわちチャンバ軸)に対して異なる方位角においても、実質的に大きなプラズマ流束(すなわちプラズマ密度)変動が生じる。これらのプラズマ流束変動によって、結果的に、加工物に入射するプラズマ流束の大きな標準偏差、すなわち6%を超える標準偏差を生じる。加工物に入射するプラズマ流束の大きな標準偏差によって、不均一加工物処理、すなわち加工物の異なる部分を異なる程度にエッティングし、かつ／または異なる量の材料をその上に堆積させる傾向がある。

【0006】

加工物に入射するプラズマ密度の均一性を改善することを目的とする多くの装置は、通常はコイル形状に關係する幾何学的原理に注目している。例えば、米国特許第5,304,279号、第5,277,751号、第5,226,967号、第5,368,710号、第5,800,619号、第5,401,350号、第5,558,722号、第5,759,280号、第5,795,429号、第5,847,074号および第6,028,395号を参照されたい。しかしながら、これらのコイルは一般に、半径方向プラズマ流束均一性を改善するように設計されているが、方位方向プラズマ流束均一性または方位対称性(azimuthal symmetry)はおおむね無視していた。

10

20

30

40

50

【0007】

本願出願人が同時に譲渡された、「誘導結合プラズマ生成システム用の多重コイル・アンテナ (Multiple Coil Antenna for Inductively-Coupled Plasma Generation Systems)」という名称の米国特許第6,164,241は、同心で、電気的に平行な2つの巻線を含み、それぞれが、各巻線の入力および出力端子と考えることのできる、第1および第2の端子を有する、別のコイルを開示している。それぞれの第1端子は、RF電源によって駆動されるマッチング・ネットワークの出力端子に、第1の組のキャパシタを介して接続されている。それぞれの第2端子は、第2の組のキャパシタを介してマッチング・ネットワークとRF供給源の共通接地端子に接続されている。各巻線には、単一の巻線または、2つの巻線の共通軸に対して円周方向および半径方向にスパイラル状に延びる複数巻線を含めることができる。各巻線は、平面または3次元形状（すなわち球形またはドーム形）であるか、または単一巻線の個別の巻線を互いに積み重ねて、個別の巻線によってプラズマに結合された電磁場の量を増強することができる。

10

20

30

【0008】

Hollandらの米国特許第6,028,395号は、複数の電気的に平行な巻線を含むコイルを開示している。巻線の周辺部が、互いに垂直に、かつコイルを真空チャンバ内部から分離している誘電体窓に対して垂直に積み重ねられている。積重ねコイル・セグメントの配設は、2つのセグメントを通過して平行に流れる電流から生じる電磁フィールドが加法的となるようにして、チャンバ内に比較的均一な電磁場を維持すると共に、加工物上で比較的均一なプラズマ密度を維持するのを助ける。

20

【0009】

積重ねコイル部分の平行接続は、2つの平行な、積重ねコイル部分と実質的に直角に延びるストラットによって確立される。リード線がコイル端末に直角に接続されている結果として、悪影響を生ずる可能性がある。とりわけ、我々は、ストラットおよびリード線は、コイルおよび積重ねコイルによって生成される電磁場に、特にリード線およびコイル端子が接続される領域周辺で、振動を与えると思われることを見出した。さらに、ストラットおよびリード線は、比較的大きな定常波変動をコイルに生成する傾向があり、この変動によって通常、加工物に不均一プラズマが入射される。

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

したがって本発明の目的は、真空プラズマ処理装置用の新規の改良型コイルを提供することである。

【0011】

本発明のさらなる目的は、真空プラズマ処理装置用の新規の改良型コイルであって、処理装置の加工物に入射するプラズマ密度の、方位均一性および半径方向均一性が比較的に高いコイルを提供することである。

40

【0012】

本発明のさらなる目的は、真空プラズマ処理装置のプラズマ励起コイルを駆動するRF励起端子と、コイルの端子との間の新規の改良型接続構造を提供することである。

【0013】

本発明の別の目的は、処理装置の誘電体窓に対して異なる面にあるプラズマ励起コイルの部分間における新規の改良型接続構造を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の一態様によれば、処理装置の真空チャンバの窓の上方に位置するように配設され、真空プラズマ加工物処理装置多重旋回プラズマ励起コイルは、少なくとも1つの実質的に平面の旋回とその平面旋回の一部分を積み重ねたセグメントを有する。この積重ねセグメントは、平面旋回巻線とチャンバ内部の屋根との間の間隔（通常は窓の厚さ）と異な

50

る距離だけ、平面旋回から間隔を空けられていると共に、平面旋回と直列に接続されており、その結果、平面旋回と積重ねセグメントを通過して同一の電流が同一方向に流れる。積重ねセグメントの使用は、主として、プラズマの個別領域への誘導RF結合を増加させて、方位方向のプラズマ均一性を向上させ、かつチャンバとコイルが完全に対称でないことによる方位非対称を補正するためである。積重ねセグメントの位置、積重ねセグメントの弧の長さ、および積重ねセグメントと平面旋回との間の間隔は、それぞれのチャンバおよび／またはコイル構成に対して選択することによって、個々のプラズマ領域へのRF結合を最適化するのが好ましい。

【0015】

積重ねセグメントは、好ましくは、平面旋回への直列接続のための第1および第2の端末を含む。積重ねセグメントは、平面旋回に接続された両端の第1および第2の端子を有する、追加の延長部分旋回を形成する。一実施形態においては、積重ねセグメントの第2の端子と平面旋回の第1の端部との間の接続を確立する金属リード線は、相互接続ループを含む。このループの第1および第2の端部は、それぞれ積重ねセグメントの第2の端子と平面旋回の第1の端部に接続されている。ループは急な湾曲部なしにゆるやか、かつ円滑に曲げられて、その結果、積重ねセグメントと平面旋回とによって生成される電磁場に振動を実質的に起こさせない。

10

【0016】

本発明の別の態様によれば、第1の金属接続構造は、コイルの入力端子とマッチング・ネットワークの出力にそれぞれ接続された第1および第2の端部を有する。第2の金属接続構造は、コイル出力端子に接続された第1の端部と、終端キャパシタに接続された第2の端部とを有する。第1および第2の金属接続構造は、急な湾曲部なしにゆるやか、かつ円滑に延びて、その結果、それらによって生成される電磁場が、コイル（および利用可能な場合には積重ねセグメント）によって生成される主磁場に、互いに強め合って（constructively）重ね合わされる。

20

【0017】

本発明のさらなる態様によれば、平面旋回の第1の部分と積重ねセグメントの一端とにそれぞれ接続された第1および第2の端部を有する金属接続構造は、その第1および第2の端部間で、急な湾曲部なしにゆるやか、かつ円滑に延びるように配設される。

【0018】

好ましくは、積重ねセグメントは、平面巻線の両端間の相互接続間隙に隣接して位置する。積重ねセグメントは、間隙から両方向に延びて、間隙からプラズマへの低いRF結合を補償する。

30

【0019】

一実施形態においては、金属接続構造は、（1）平面旋回の第1の端部から間隙から離れる方向にループを描き、その結果、積重ねセグメントの第1の端部よりも間隙から遠い点まで間隙から離れて延びる第1の部分と、（2）その点から積重ねセグメントの第1の端部にループを描いて戻る第2の部分とを含む。金属接続構造の第1の端部は、好ましくは、積重ねセグメントの第1の端部に対して接線方向に延びる。積重ねセグメントは、RF供給源からの電流に応答するように接続されたコイル端子の1つを画定する第2の端部を含む。

40

【0020】

本発明の追加の態様によれば、平面旋回は第1および第2の端部部分を含み、これらは空間に互いに近接すると共に、間隙によって互いに間隔を空けられており、そのために電流は、第1および第2の端部部分の間の平面旋回の残り部分を流れる。端部部分の1つは、半径方向かつ円周方向に延びる導電ストラップによって巻線の隣接旋回に接続されている。積重ねセグメントは、間隙を越えて延びており、その結果、積重ねセグメントの第1および第2の端部は間隙の両側にある。

【0021】

第1の実施形態によれば、積重ねセグメントの第1および第2の端部は、隣接する平面旋

50

回の間の相互接続間隙からほぼ等しい角度で変位させてある。接続構造は、最初に電流が平面旋回内の電流の方向と反対の方向に戻るように流れ、次いでゆるやかに湾曲した接続構造に沿って徐々に方向を変え、最後には平面旋回内で元の電流の流れと同一方向に流れるように配設されている。

【0022】

第2の実施形態によれば、積重ねセグメントの第1および第2の端部は、第2の端部が、隣接する旋回を相互接続する間隙を越えて円周方向に変位させられると共に、間隙の角度変位よりも実質的に大きく延びて、間隙領域からプラズマへの低RF結合を補償するよう配設される。好ましくは、積重ねセグメントは、その第2の端部が平面旋回の第1の端部の上に載っている。積重ねセグメントの第2の端部は、短く、直線の接続を介して平面旋回の第1の端部に接続することによって、平面旋回内で電流が同一方向に流れ続けるようにすることができる。

【0023】

本発明の、上記およびさらなる目的、特徴および利点は、その具体的な実施形態の詳細な説明を、特に添付の図面を合わせて考慮すれば明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

添付図面の図1の真空プラズマ加工物処理装置は、研磨加工された金属壁12、金属底部エンド・プレート14、およびその中心から周辺まで同一厚さの誘電体窓構造19からなる円形トップ・プレート構造18を有する、円筒に成形された真空チャンバ10を含む。真空チャンバ10のシーリングは、従来型のガスケット（図示せず）によって提供される。

【0025】

図1の処理装置は、半導体、誘電体または金属基板のエッチング、またはそのような基板に材料を堆積させるのに使用することができる。

【0026】

プラズマ状態に励起することのできる好適な気体は、気体供給源（図示せず）から側壁12のポート20を介してチャンバ10の内部に供給され、さらに気体配送機構（図示せず）を介して均一に分布させる。チャンバの内部は、エンド・プレート14内のポート22に接続された真空ポンプ（図示せず）によって、1～1000ミリトールの範囲で変動可能な圧力で、真空状態に維持される。

【0027】

チャンバ10内の気体は、好適な電気供給源によって、制御された空間密度を有するプラズマに励起される。電気供給源は、窓19の直上に装着されて、一般に13.56MHzの固定周波数を有する可変電力RF発生装置26によって励起される、平面、または球形、またはドーム状コイル24を含む。

【0028】

インピーダンス・マッチング・ネットワーク28は、RF発生装置26の出力端子とコイル24の励起端子との間に接続されて、発生装置からのRF電力をコイルに結合する。インピーダンス・マッチング・ネットワーク28は、可変リアクタンスを含み、この可変リアクタンスを、検出器43によって検知されるマッチング・ネットワークの入力端末に反射された電圧の振幅と位相角の指示値に応答して、コントローラ29が公知の方法で変化させる。コントローラ29は、ネットワーク28のリアクタンス値を変化させ、その結果、供給源26と、コイル24およびコイルが駆動するプラズマ負荷を含む負荷とのインピーダンス・マッチングを達成する。

【0029】

コントローラ29はまた、入力デバイス41に応答して、コイル24に結合された可変リアクタンスを制御する。入力デバイス41は、ポテンショメータまたはキーパッドのキーなどの手操作デバイスとするか、または加工物32の異なる処理処方に対してコンピュータ・メモリに記憶させた信号に応答するマイクロプロセッサとすることができる。処方の

10

20

30

40

50

変数には、(1) ポート 20 からチャンバ 10 中に流入する気体種、(2) ポート 22 に接続された真空ポンプにより制御されるチャンバ 10 内の圧力、(3) コイル 24 に供給される電力と実質的に等しい R F 供給源 26 の全出力電力、および(4) コイル 24 に接続されたキャパシタの値がある。

【0030】

加工物 32 は、チャンバ 10 内の加工物ホルダ（すなわち圧盤またはチャック）30 の表面に強固に装着されており、加工物 32 を担持するホルダの表面は窓 19 の表面と平行である。加工物 32 は、通常、DC 電源（図示せず）がホルダ 30 のチャック電極（図示せず）に印加する DC 電圧によって、ホルダ 30 表面に静電気的に締め付けられている。R F 供給源 45 は、可変リアクタンス（図示せず）を含むインピーダンス・マッチング・ネットワーク 47 に無線周波数電磁波を供給する。マッチング・ネットワーク 47 は、供給源 45 の出力をホルダ 30 に結合する。コントローラ 29 は、振幅および位相検出器 49 が導き出した信号に応答してマッチング・ネットワーク 47 の可変リアクタンスを制御し、供給源 45 のインピーダンスをホルダ 30 の電極（図示せず）のインピーダンスにマッチングさせる。ホルダ 30 内の電極に結合された負荷は、主としてチャンバ 10 内のプラズマである。周知のように、供給源 45 がホルダ 30 の電極に印加する R F 電圧は、プラズマ中の荷電粒子と相互作用して加工物 32 上に DC バイアスを生成する。

10

【0031】

コイル 24 を取り囲み、かつ上部エンド・プレート 18 上方に延びているのは、壁 12 の内径よりもいくぶん大きな内径を有する金属チューブまたは缶状シールド 34 である。シールド 34 は、コイル 24 内に発生する電磁場を周囲環境から減結合する。円筒状に成形されたチャンバ 10 の直径は、コイル 24 によって生成される電磁場の境界を画定する。誘電体窓構造 19 の直径は、チャンバ 10 の全上部表面が誘電体窓構造 19 で構成される程度に、チャンバ 10 の直径よりも大きい。

20

【0032】

加工物 32 の処理表面と誘電体窓構造 19 の底部表面の間の距離は、露出され、処理された加工物の表面上に最も均一なプラズマ流束を提供できるように選択する。本発明の好ましい実施態様に対して、加工物処理表面と誘電体窓の底部との距離はチャンバ 10 の直径の約 0.2 ~ 0.4 倍である。

30

【0033】

コイル 24 には、1つの巻線または複数の平行巻線を含めることができる。どちらの配設においても、各巻線は、供給源 26 の 13.56 MHz において、電気的に十分な長さであり、約 30° ~ 45° の全電気的長さ有する伝送線路として機能して、巻線の長さに沿って定常波パターンを生成する。この定常波パターンは、巻線の長さに沿った定常波 R F の電圧および電流の大きさに変動を生じる。巻線によって生成される磁束が、これらの R F 電流の大きさに依存するために、コイル 24 の異なる巻線の下の、チャンバ 10 の異なる部分において異なるプラズマ密度が生成されることになる。

30

【0034】

コイル 24 の異なる部分を流れる R F 電流の大きさにおける変動が、空間的に平均化されて、これによってプラズマ濃度空間分布を制御するのを支援する。これらの異なる電流値を空間的に平均化することによって、特に巻線における低 R F 電流領域において、プラズマ密度における方位非対称を実質的に防止することができる。別の選択肢としては、発生装置 26 の周波数を 4.0 MHz とするが、この場合にはコイル 24 の巻線は電気的に短く、約 10° ~ 15° であり、巻線内の定常波電流および電圧は実質的に一定になる。

40

【0035】

次に添付図面の図 2 に示す、図 1 のコイル 24 の一構成の上面部を参照する。コイル 24 は、3つの同心旋回 101、102、103 を有する単一巻線を含み、これらのすべては、円のセクタ（扇形）であり、同一面内にある。旋回 101 ~ 103 は、コイル中心軸 105 と同心であり、旋回 101、102、および 103 の半径は漸進的に大きくなる。旋回 101 ~ 103 のそれぞれの角度長さは約 340°、すなわち円の全一周転よりもわずかに大きい。

50

かに小さい。旋回 101、102、103 の隣接する端部は、半径方向および円周方向に延びるまっすぐな巻線セグメント 107 および 109 によって、それぞれ互いに相互接続されており、その結果、セグメント 107 の内部および外部端部はそれぞれ内部旋回 101 および中央旋回 102 の隣接端部に接続され、一方、セグメント 109 の内部および外部端部は、中央旋回 102 および外部旋回 103 の隣接端部にそれぞれ接続されている。内部旋回 101 の他端は、適当なケーブルまたはストラップ 180 で、マッチング・ネットワーク 28 の RF 電圧出力端子に接続された端子 111 を含む。

【0036】

外部旋回 103 の他方の端部端子 113 は、銀メッキした銅製のシート・メタル・ストラップ、すなわちリード線 117 によって、積重ねコイル・セグメント 115 と直列に接続されている。積重ねセグメント 115 は、(1) 弧の長さが約 120° であり、(2) 旋回 103 の半径と等しい半径を有する円のセクタとして成形されており、(3) 旋回 103 の 120° セクタの上に重なり、かつ位置合わせされている。セクタ 115 は、コイル 24 の y 軸 120 から両方向に約 60° 延びており、y 軸 120 は、コイル中心軸 105 から延びると共に、旋回 103 の互いに空間的に近接する、第 1 と第 2 の端部部分間の旋回 103 の 20° 間隙の両端部から等距離にある直線として定義される。積重ねセグメント 115 は、旋回 101、102、103 の面の上方かつ平行な面内に位置する。

10

【0037】

好ましくは、それぞれの旋回 101～103 は長方形横断面を有し、各横断面の幅は約 1.0 cm、各横断面の高さが約 1.6 cm である。旋回 101～103 のそれぞれは、銀被覆を施した銅で製作し、図 3 に示すように冷却流体が流れる中空中心 124 を有するのが好ましい。積重ねセグメント 115 は、好ましくは銀被覆を施した銅で製作し、幅が約 1.0 cm で高さが約 0.6 cm の中実長方形横断面を有する。

20

【0038】

誘電体支持ブロック 119 は、積重ねセグメント 115 を、旋回 101～103 に平行かつその上方の面に強固に位置決めする。誘電体支持ブロック 119 は、概して長方形であり、旋回 103 の上部および底部、ならびにセグメント 115 がそれぞれ適合するノッチ 121、123 を含む。

【0039】

セグメント 115 は、端子 125 および 127 を含み、これらは、図 2 に示すように、y 軸 120 の左右に等しい角度変位でそれぞれ配置されている。したがって、端子 125 が旋回 103 の端部端子 113 から約 50° 間隔を空けて旋回 103 の部分の上方にあり、同時に端子 127 は、セグメント 109 によって旋回 102 に接続された旋回 103 の点から約 50° 間隔を空けて、旋回 103 の部分の上方にある。銀メッキされた銅シート金属ストラップ（すなわちリード線）128 の一端は、端子 127 に接続されて、電磁場分布を支援するために端子 127 が配置されている部分 115 の端部から接線方向に延びている。ストラップ 128 の他端は、終端キャパシタ 129 を介して接地されている。

30

【0040】

ストラップ形成リード線 117 は、最初にコイル x 軸および y 軸 120、122 から離れて、すなわち端子 113 から外側に延びる第 1 の端部を有する部分 116 を含む。次いで部分 116 は、垂直かつ実質的に旋回 103 および積重ねセグメント 115 と平行に、端子 125 を越えて延びる。ストラップ 117 はまた、旋回 103、セグメント 115 および端子 125 の方向にループを形成して戻る部分 118 を含む。部分 118 または 128 は、セグメント 115 の部分への接線に沿って延び、この部分で端子 125 または 127 が、図 4 または 5 に示すように位置している。部分 118 の端部の、ストラップ 117 の第 2 の端部は、端子 125 に機械的かつ電気的に接続され、ストラップの第 1 の端部が、端子 113 に機械的かつ電気的に接続されている。図 6 に示すように、ストラップ形成リード線 117 は、捩じられており、完全には閉じていないメビウス・ループに似ている。

40

【0041】

積重ねセグメント 113 は、積重ねセグメントと位置合わせされたプラズマ領域への誘導

50

R F 結合を増大させ、方位方向プラズマ均一性を改善し、例えば旋回 103 の両端部間の隙内でチャンバとコイルが完全に対称でないことによる、方位非対称性を補正する。積重ねセグメント 115 の位置、端子 125 と 127 の間の積重ねセグメントの弧の長さ、および積重ねセグメント 115 と平面形旋回 103 の間隔は、各チャンバ構成に対して、個々のプラズマ領域への R F 結合を最適化するように選択するのが好ましい。

【0042】

積重ねセグメント 115 とストラップ形成リード線 117 の構成が望ましい理由は、旋回 103 からわずかに垂直に湾曲して離れる部分 116 における電流から生じる場は、積重ねセグメントおよび旋回 103 によって生成される場にわずかに振動を与えるだけであると共に、部分 118 における電流から生じる場は、コイルが生成する他の場に互いに強め合って (constructively) 加わるためである。このストラップ形成リード線 117 の構成は、ストラップ 117 の部分 116 を流れる電流が、端子 125 および 113 の間の旋回 103 および積重ねセグメント 115 の部分を流れる電流と反対に流れてもかかわらず、端子 113 から端子 125 に流れる電流が、旋回 103 とセグメント 115 の重畠部分に流れる電流の複合効果によって生じる場から実質的に減算をする電磁場を生成しないようとする。積重ねセグメント 115 の上方にあるストラップ 117 の部分 118 は、ストラップ 117 の部分 118 が、セグメント 115 およびセグメント 115 の下方の旋回 103 の重畠部分によって生成される磁束に追加される磁束を生成するよう、実質的にセグメント 115 に位置合わせされている。

【0043】

供給源 26 の周波数およびコイル 24 の長さは、好ましくは、コイルが R F 供給源 26 の波長と比較して電気的に短い (45° 以下、例えば 20° ~ 30°)。したがって、電流は、端子 111 と端子 127 の間でコイル 24 を通過して常に同じ方向に流れる。キャパシタ 129 の値を適切に選択することによって、端子 111 および 127 における定常波電流の振幅がほぼ等しくなり、かつ端子 111 および 127 から等距離の点に、コイル 24 の中心における定常波電流ピーク振幅がある。

【0044】

ストラップ 117 の形状は、旋回 103 からセグメント 115 へと高さが滑らか、かつゆるやかに変わり、ストラップの両端部間で急な湾曲部がなく、この形状は、旋回 103 とセグメント 115 の間で誘導結合をゆるやかに変化させ、コイルの電磁場分布を乱さない。旋回 103 およびセグメント 115 が、巻線とセグメントの間に直接、垂直に伸ばされた、すなわち旋回 101 ~ 103 の面に直角に延ばされたストラップまたはその他の導体によって接続されている場合には、急な誘導結合変化およびコイル電磁波分布の実質的な妨害があるであろう。これらの悪影響が起こる理由は、旋回 103 およびセグメント 115 がそれらを通過する同一の R F 電流を有し、それらを (旋回 101 ~ 103 の面に直角に) 接続するストラップが電磁場を生成し、この電磁場が、旋回 101 ~ 103 およびセグメント 115 によって生成された場を、直交して妨害することになるからである。

【0045】

図 7 に示すように、コイル端子 111 および 127 は、それぞれ金属ストラップ 128 および 180 によって、いずれもコイル 24 上のハウジング内に位置するキャパシタ 129 およびマッチング・ネットワーク 28 の出力端子を介して、接地されている。ストラップ 128 を端子 127 とキャパシタ 129 の間で円滑、かつゆるやかに (急な湾曲部なしに) 接続することによって、同じ利点の多くが提供される。ストラップ 180 の反対両端を、ストラップ 128 および端子 127 を接続するのと同様に、端子 111 およびマッチング・ネットワーク 28 の出力端子に接続することによって同様の結果が得られる。

【0046】

図 2 ~ 6 のコイル配設と類似の積重ねコイル配設は、マッチング・ネットワーク 28 の R F 出力によって並列に駆動される 2 つの平行で同心の巻線を含むコイルを用いて利用することもできる。そのようなコイルを図 8 に示してあり、このコイルは、コイル軸 140 と同心の、多重旋回の、ほぼ等しい長さの内部および外部巻線 130、132 を含む。多重

10

20

30

40

50

コイル（または複数巻線）の作動の原理は、Chenらの米国特許第6,164,241号に記述されている。図8に示す、積重ねセグメント164なしのコイルの作動のさらなる詳細は、本願出願人らの同時係属の「Inductive Plasma Processor Having Coil with Plural Windings and Method of Controlling Plasma Density」という名称の出願（LHGB Docket 2328-050、本出願と同時に申請）にも示してあり、これには図8のコイルに使用されるマッチング・ネットワークならびにチューニングおよび制御配設と類似するか、または同一のマッチング・ネットワーク28ならびにチューニングおよび制御配設の詳細が含まれる。

【0047】

巻線130は、3つの旋回134、136および138を含み、このそれぞれは、軸140と同心の個別の円のセクタに沿っており、これらの円の半径は異なる。内部旋回134および外部旋回138はそれぞれ、入力励起端子142および出力励起端末144を含む。端子142は、マッチング・ネットワーク28の電力出力端末に接続され、同時に、端子144はストラップ145によって終端キャパシタ146を介して接地されている。これらの接続は、端子142が終端キャパシタを介して接地され、端子144がマッチング・ネットワーク28に接続されるように、逆転させることもできることがわかるであろう。ストラップ143および145は、ストラップ128と同じ構成である。旋回134および138の端部は、半径方向および円周方向に延びる巻線130の直線のセグメント148および150によって、旋回136の両端部にそれぞれ接続されている。

10

【0048】

巻線132は、入力励起端子156および出力励起端子158をそれぞれ含む外部旋回152および内部旋回154を含む。端子156はストラップ157によってマッチング・ネットワーク28の電力出力端子に接続され、同時に、端子158はストラップ159によって、終端キャパシタを介して接地されるか、またはその逆である。ストラップ157および159は、ストラップ128と同じ構成である。旋回152および154は、円周方向および半径方向に延びる直線のコイル・セグメント162によって互いに接続されている。旋回152および154は、コイル軸140と同心であり、軸140から異なる半径で間隔を空けられている。図8のコイルの旋回134、136、138、152および154のすべては、実質的に平面状であり、図3に示す旋回101～103の横断面と同一の横断面を有する。内部巻線130内の相互接続セグメント148および150は、好みしくは、外部旋回152のセグメント162と半径方向反対側に位置合わせし、プラズマに与えるRF結合の半径方向非対称性の影響を最小化する。

20

【0049】

図8のコイルは、旋回152の面の上方に積み重ねられて、約150°の弓形長さで延びる、弓形セグメント164を含む。積重ねセグメント164は好みしくは、中実断面を有し、図3に示すように積重ねセグメント115と同様に構成する。セグメント164は、図3～5の構造119と同じ構造によって旋回152の一部分の上方に位置決めされている。積重ねセグメント164は、旋回152と同じ半径を有する円のセクタであり、軸140に中心を有し、それによって旋回152に位置合わせされている。セグメント164の一端は、金属ストラップ157によってマッチング・ネットワーク28の電力出力端子に接続された端子156を含む。端子156に接続されたストラップ157の第1の端部は、(1)端子156が位置するセグメント164の部分から接線方向に、(2)実質的にセグメントの上部と同じ面内に延びている。したがって、ストラップ157は、螺旋階段の高さが増加するのと同様に、ゆるやか、かつ円滑に、(1)巻線132の内側方向、および(2)上方に延びている。ストラップ157の第2の反対側端部は、インピーダンス・マッチング・ネットワーク28のRF出力端子に接続されている。ストラップ143はまた、螺旋階段と同様に、滑らか、かつゆるやかに、端子142とインピーダンス・マッチング・ネットワーク28のRF出力端子との間に延びている。

30

【0050】

40

50

端子 156 の反対側の積重ねセグメント 164 の端部は、実質的に旋回 152 の端部と位置合わせされると共に、垂直に延びる金属ねじ 166 および金属スペーサ 168 によって、旋回 152 の端部において、電気的かつ機械的に旋回 152 に接続されており、この旋回 152 の端部では中空横断面がなく、旋回 152 内のねじ穴は、図 9 に示すように完全貫通にでも、または十分な深さにでもできる。スペーサ 168 は、好ましくは銀メッキした銅で製作するのに対して、ねじ 166 は銀メッキしたステンレス鋼または真鍮で製作して、良好な機械的強度を与える。ねじ 166 を締結することによって、電流はセグメント 164 からねじ 166 およびスペーサ 168 を介して旋回 152 へと連続して流れ。 10

【0051】

さらなる選択肢としては、図 10 に示すように、セグメント 164 は金属ストラップ 170 および中実金属部分 172 を含む。ストラップ 170 の両端部は、旋回 152 の端部と、旋回 152 に平行な面内に延びて、ブロック 119 で支持された中実金属部分 172 の第 1 の端部とに、それぞれ接続されている。金属ストラップ 170 は、旋回 152 の端部と中実金属部分 172 の第 1 の端部との間で、滑らか、かつゆるやかに延びている。 20

【0052】

作動に際しては、図 8 のコイルは、比較的電気的長さが短く、すなわち供給源 26 の周波数（例えば 4 MHz）であり、巻線 130 および 132 の長さは、巻線 130 および 132 のそれぞれにおける定常波電流が電気的長さにおいて約 20° から 30° となるようにされている。その結果、巻線 130 および 132 の長さに沿っては、実質的な定常波電流および電圧は変動がない。ネットワーク 28 の RF 出力端子によって並列に駆動される入力端子 142 および 156 の位置、および巻線の短い電気的長さは、旋回 134、136、138、152 および 154 の同じ方位角に沿った RF 電流が実質的に同一方向に流れるようにされている。終端キャパシタ 146 および 160 の値は、巻線 130 および 132 の全体インピーダンスを調整して各巻線の電流を制御するようにそれぞれ選択されて、インピーダンスが低いほど、電流が高くなる。 30

【0053】

積重ねセグメント 164 の下の旋回 152 のセグメント内を流れる電流の大きさと方向が、積重ねセグメント内とほぼ同じであるので、積重ねセグメント 164 を通過する電流によって生じる磁場は、積重ねセグメント 164 と位置合わせされた旋回 152 の部分を通過する電流によって生じる磁場を補助する。全体的に、コイルは、方位的に変更することによってプラズマ方位不均一性を実質的な範囲で補正または補償することのできる電磁場分布を生成する。 40

【0054】

本発明の具体的な実施形態を記述し説明したが、添付の請求の範囲に定義する本発明の真の趣旨と範囲から逸脱することなく、具体的に説明し記述した実施形態の詳細の変更が、可能であることは明らかであろう。

【0055】

例えば、本発明の多くの原理は、1つまたは2つの巻線を有するコイルに限定されることなく、3つまたは4つ以上の巻線を有するコイルにも適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図 1】 本発明と関係して用いる形式の真空プラズマ処理装置の概略図である。

【図 2】 図 1 の処理装置に使用する RF 励起コイルの一実施形態の上面図である。

【図 3】 図 2 の線 3-3 で見た横断面図である。

【図 4】 図 2 のマークを通る側面断面図である。

【図 5】 図 2 のマークを通る側面断面図である。

【図 6】 図 2 ~ 5 に示すコイルの一部分の斜視図である。

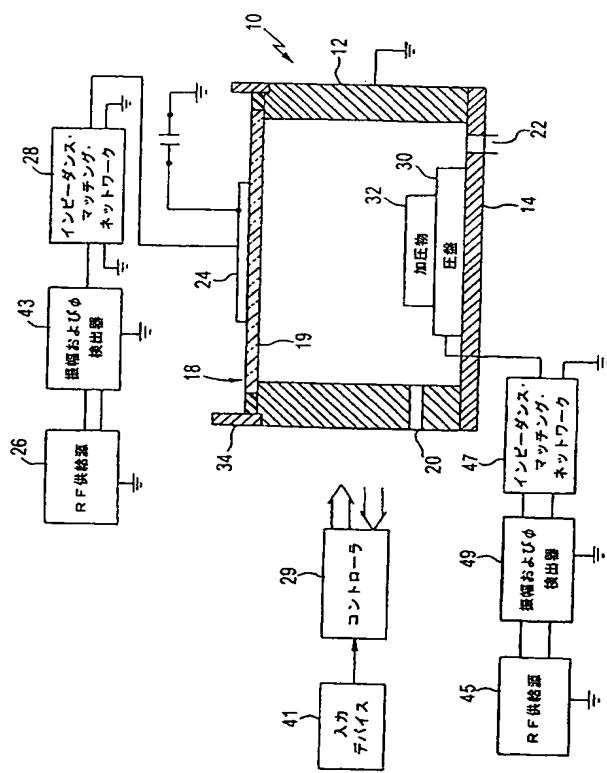
【図 7】 コイルの端子と、コイル用 RF 供給源を含むハウジングの端子との間に接続された金属ストラップと組み合わせた、図 2 のコイルの側面図である。

【図 8】 図 1 の処理装置に使用する RF 励起コイルの第 2 の実施形態の上面図である。 50

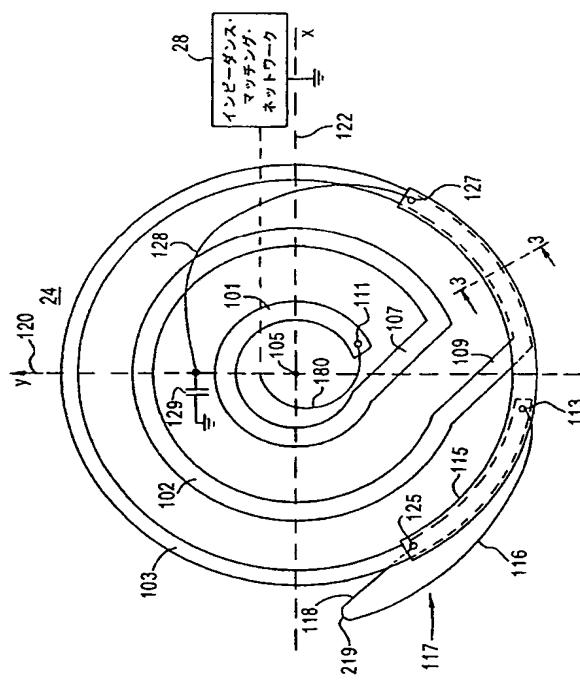
【図9】図8のコイルの一部分の側面図である。

【図10】図8のコイルの修正形態であるコイルの一部分を示す側面図である。

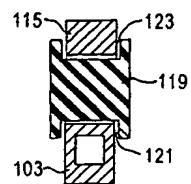
【図 1】



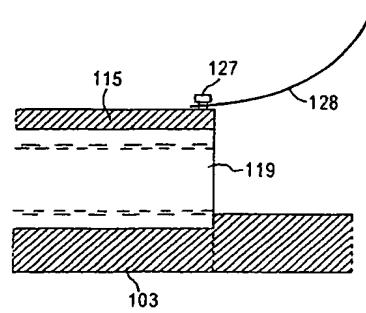
【図2】



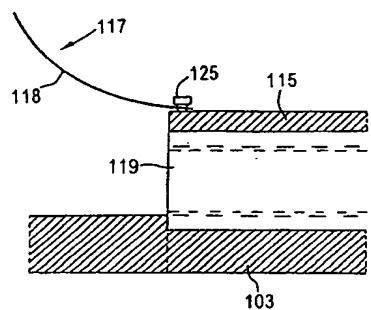
【図 3】



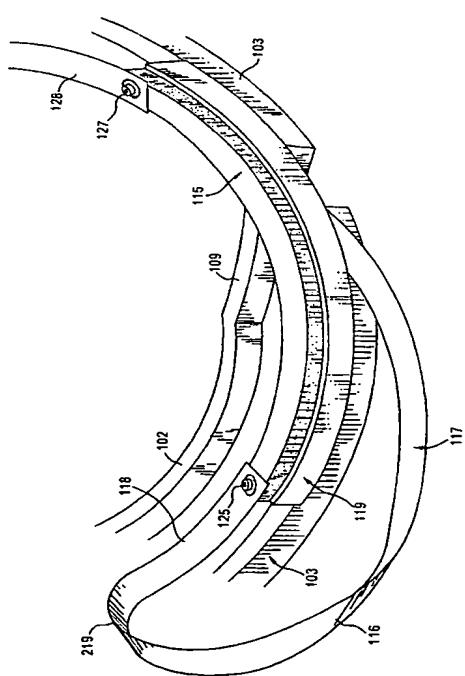
【図 5】



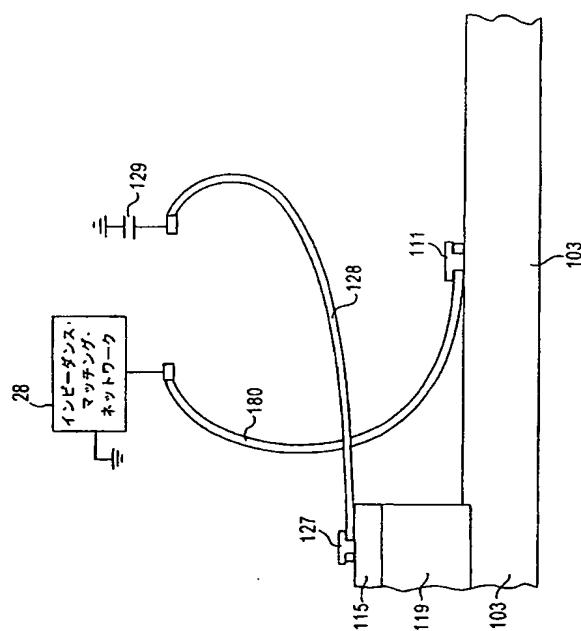
【図 4】



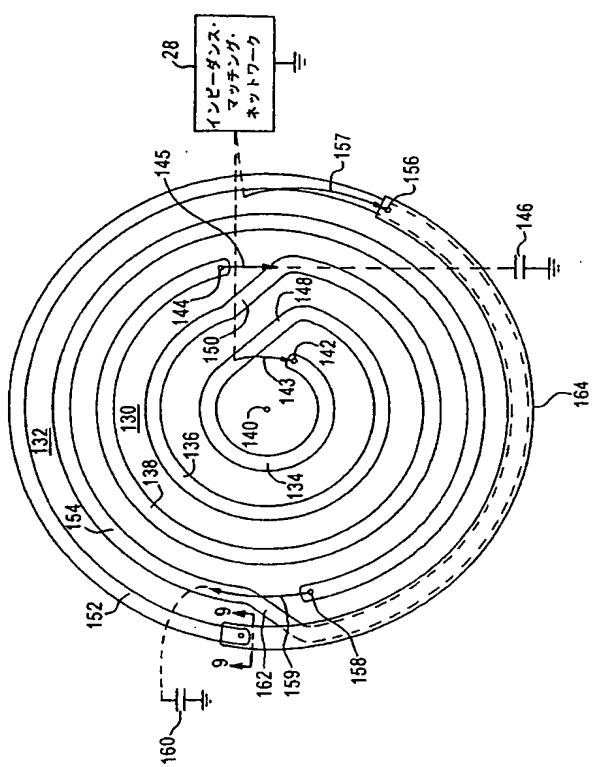
【図 6】



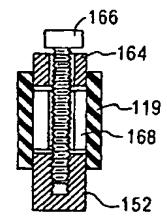
【図 7】



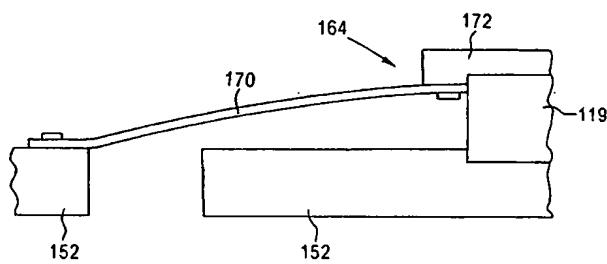
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
10 October 2002 (10.10.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/080219 A1

(51) International Patent Classification: H01J 37/32 (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT; AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, HN, GB, GD, GH, GM, HR, IT, ID, IL, IN, IS, JP, KR, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SL, SK, SI, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(21) International Application Number: PCT/US02/09563 (84) Designated States (regional): ARPA patent (GH, GM, KH, LS, MW, MG, SD, SL, SZ, TZ, UG, VM, ZW), Burundian patent (AM, AZ, BY, EO, EZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BB, CL, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BJ, BJ, CH, CG, CI, CM, GA, GN, QQ, GW, ML, MR, NL, SN, TD, TG).

(22) International Filing Date: 29 March 2002 (29.03.2002)

(25) Filing Language: English (85) Priority Data: 09/621,752 30 March 2001 (30.03.2001) US

(71) Applicant (for all designated States except US): LAM RESEARCH CORPORATION [US418]; 4650 Cushing Parkway, Fremont, CA 94538-6516 (US).

(72) Inventors: and
(73) Inventors/Applicants (for US only): CHEN, Jian, J. [US/US]; 3456; Vane Common, Fremont, CA 94555 (US); VELTROF, Robert, G. [US/US]; 2336 N. Stonecrest Place, Eagle, IN 82616-3992 (US); WICKER, Thomas, E. [US/US]; 4430 Fairview Road, Reno, NV 89511 (US).

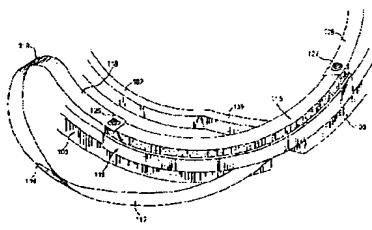
(74) Agent: LOWE, Allan, M.; Lowe Hampton Gilman & Berner, I.P., Suite 310, 1700 Diagonal Road, Alexandria, VA 22314 (US).

(64) Title: STACKED RF EXCITATION COIL FOR INDUCTIVE PLASMA PROCESSOR



A1

WO 02/080219 A1 (57) Abstract: A radio frequency excitation coil of an inductive plasma processor includes a planar turn (103) connected in series with a segment (115) of the coil stacked above a portion of the planar turn. The stacked segment is placed around a region having weak radio frequency coupling to plasma due to azimuthal asymmetries in the chamber and/or the excitation coil. In a single winding embodiment, the stacked segment is close to an interconnection gap between two adjacent planar turns and extends in both directions from the gap to compensate low radio frequency coupling to plasma in the gap region. In an embodiment including two electrically parallel vertically concentric windings, the stacked segment extends beyond one side of an interconnection gap of two adjacent turns, and is aligned with the planar turn such that one end of the stacked segment is directly connected to an end of the planar turn via a straight, short stub. Terminal (111) of the coil is connected to RF excitation circuitry (28) terminals in a housing above the coil by leads (128) extending smoothly and gradually without sharp bends between the coil terminals and the excitation circuitry terminals. Ends of the planar turn (113) and the stacked segment are connected by a lead (116) extending smoothly and gradually without sharp bends between its ends.



WO 02/080219

PCT/US02/09563

**STACKED RF EXCITATION COIL
FOR INDUCTIVE PLASMA
PROCESSOR**

Field of Invention

The present invention relates generally to inductive plasma processors with RF plasma excitation coils and, more particularly, to such a processor with a coil including a planar winding segment that is electrically connected to a planar turn, wherein the segment is stacked vertically relative to a portion of the planar turn. Another aspect of the invention relates to a processor including a coil with a winding having a planar turn having ends that are in a first plane and connected with turns or partial turns having ends in a second plane wherein the coil is driven from RF excitation terminals that are spaced from the first and second planes and the turn ends are connected to (1) each other and/or (2) the excitation terminals by connecting structures that extend smoothly and gradually, without sharp bends, between opposite ends of the connection structure.

Background Art

One type of processor for treating workpieces with an RF plasma in a vacuum chamber includes a coil connected to be responsive to an RF source by leads extending vertically between terminals located in a housing above the coil. The coil, which is usually planar or spherical or dome shaped, is driven by the RF source to produce electromagnetic fields that excite ionizable gas in the chamber to a plasma. The leads connecting the coil to the excitation source intersect terminals of the coil at right angles. Usually the coil is on or adjacent to a dielectric window that extends in a direction generally parallel to a planar horizontally extending surface of the processed workpiece. The excited plasma

WO 02/080219

PCT/US02/09563

2

interacts with the workpiece in the chamber to etch the workpiece or to deposit material on it. The workpiece is typically a semiconductor wafer having a planar circular surface or a solid dielectric plate, e.g., a rectangular glass substrate used in flat panel displays, or a metal plate.

5 Ogle, U.S. Patent 4,948,458 discloses a multi-turn spiral planar coil for achieving the above results. The spiral, which is generally of the Archimedes type, extends radially and circumferentially between its interior and exterior terminals connected to the RF source via an impedance matching network. Such coils produce oscillating RF fields having magnetic and electric field components
10 that penetrate through a dielectric window to excite electrons and ions in a portion of the plasma chamber close to the window. The spatial distribution of the magnetic field in the plasma portion close to the window is a function of the sum of individual magnetic field components produced by the current at each point of the coils. The inductive component of the electric field is produced by the time
15 varying magnetic field, while the capacitive component of the electric field is produced by the RF voltage in the coils. The inductive electric field is azimuthal while the capacitive electric field is vertical to the workpiece. The current and voltage differ at different points because of transmission line effects of the coil at the frequency of the RF source.

20 For spiral designs as disclosed by and based on the Ogle '458 patent, the RF currents in the spiral coil are distributed to produce a toroidal shaped electric field resulting in a toroidal plasma close to the window, which is where power is absorbed by the gas to excite the gas to a plasma. The toroidal shaped magnetic field is accompanied by a ring shaped electric field which generates a toroidal shaped plasma distribution. At low pressures, in the 1.0 to 10 mTorr range, diffusion of the
25 plasma from the toroidal shaped region where plasma density is peaked tends to smear out plasma non-uniformity and increases plasma density in the chamber center just above the center of the workpiece. However, the diffusion alone generally can not sufficiently compensate plasma losses to the chamber walls and plasma

density around the workpiece periphery can not be changed independently. At intermediate pressure ranges, in the 10 to 100 mTorr range, gas phase collisions of electrons, ions, and neutrals in the plasma further prevent substantial diffusion of the plasma charged particles from the toroidal region. As a result, there is a relatively high plasma density in a ring like region of the workpiece but low plasma densities in the center and peripheral workpiece portions.

These different operating conditions result in substantially large plasma flux (i.e., plasma density) variations between inside the toroid and outside the toroid, as well as at different azimuthal angles with respect to a center line of the chamber that is at right angles to the plane of the workpiece holder (i.e., chamber axis). These plasma flux variations result in a substantial standard deviation, i.e., in excess of six percent, of the plasma flux incident on the workpiece. The substantial standard deviation of the plasma flux incident on the workpiece has a tendency to cause non-uniform workpiece processing, i.e., different portions of the workpiece are etched to different extents and/or have different amounts of materials deposited on them.

Many arrangements directed to improving the uniformity of the plasma density incident on a workpiece have concentrated on geometric principles, usually concerning coil geometry. See, e.g., U.S. Patents 5,304,279; 5,277,751; 5,226,967; 5,368,710; 5,800,619; 5,401,350; 5,558,722; 5,759,280; 5,795,429, 5,847,074 and 6,028,395. However, these coils have generally been designed to provide improved radial plasma flux uniformity and to a large extent have ignored azimuthal plasma flux uniformity or azimuthal symmetry.

Our commonly assigned U.S. Patent 6,164,241 entitled "Multiple Coil Antenna for Inductively-Coupled Plasma Generation Systems," discloses another coil including two concentric electrically parallel windings each having first and second terminals, which can be considered input and output terminals of each winding. Each first terminal is connected via a first series capacitor to an output terminal of a matching network driven by an RF power source. Each second terminal is connected via a second series capacitor to a common ground terminal of

the matching network and RF source. Each winding can include a single winding or multiple windings that extend circumferentially and radially in a spiral-like manner relative to a common axis of the two windings. Each winding is planar or three-dimensional (i.e., spherical or dome-shaped) or separate windings of a single winding can be stacked relative to each other to augment the amount of electromagnetic fields coupled by a particular winding to the plasma.

Holland et al, U.S. Patent 6,028,395, discloses a coil including plural electrically parallel windings. Peripheral parts of the windings are stacked vertically with respect to each other and a dielectric window separating the coil from the vacuum chamber interior. The stacked coil segments are arranged so that the electromagnetic fields resulting from current flowing in parallel through the two segments is additive, to assist in maintaining relatively uniform electromagnetic fields in the chamber and a relatively uniform plasma density on the workpiece.

The parallel connections of the stacked coil portions are established by struts that extend substantially perpendicular to the two parallel, stacked coil portions. Adverse effects may occur as a result of the leads being connected perpendicular to the coil terminals. In particular, we have found that the struts and leads seem to perturb the electromagnetic fields generated by the coil and stacked coil segments particularly around the region where the leads and coil terminals are connected. In addition the struts and leads have a tendency to produce in the coil relatively large standing wave variations which usually cause a non uniform plasma to be incident on the workpiece.

It is accordingly an object of the present invention to provide a new and improved coil for a vacuum plasma processor.

An additional object of the present invention is to provide a new and improved coil for a vacuum plasma processor wherein the plasma density incident on a workpiece of the processor has relatively high azimuthal and radial uniformity.

A further object of the invention is to provide a new and improved connection structure between RF excitation terminals driving a plasma excitation coil of a vacuum plasma processor and terminals of the coil.

5 Another object of the invention is to provide a new and improved connection structure between portions of a plasma excitation coil that are in different planes relative to a dielectric window of the processor.

Summary of the Invention

According to one aspect of the invention, a vacuum plasma workpiece processor multi-turn plasma excitation coil which is arranged to be positioned above a window of a vacuum chamber of the processor has at least one substantially planar turn and a segment stacked with a portion of the planar turn. The stacked segment is spaced from the planar turn by a distance different from the spacing between the planar turn winding and the roof of the chamber interior (typically the window thickness) and is connected in series with the planar turn so the same current flows in the same direction through the planar turn and the stacked segment. The stacked segment is mainly used to increase the inductive RF coupling to a particular region of the plasma to improve the azimuthal, plasma uniformity and correct azimuthal asymmetries due to the chamber and coil not being perfectly symmetric. The position of the stacked segment, the arc length of the stacked segment, and spacing between the stacked segment and the planar turn are preferably selected for each chamber and/or coil configuration to optimize the RF coupling to a particular region of plasma.

The stacked segment preferably includes first and second terminals for series connection to the planar turn. The stacked segment forms an additional, extended partial turn having opposite first and second terminals connected to the planar turn. In one embodiment, a metal lead which establishes the connection between the second terminal of the stacked segment and a first end of the planar

turn includes an interconnection loop. First and second ends of the loop are respectively connected to the second terminal of the stacked portion and the first end of the planar turn. The loop is bent gradually and smoothly without sharp bends such that it does not substantially perturb the electromagnetic fields produced by the stacked segment and the planar turn.

According to another aspect of the invention, a first metal connection structure has first and second ends respectively connected to an input terminal of the coil and an output of a matching network. A second metal connection structure has a first end connected to the coil output terminal and a second end connected to a termination capacitor. The first and second metal connection structures extend gradually and smoothly without sharp bends such that electromagnetic fields produced by them are constructively superimposed on the main fields produced by the coil (as well the stacked segment if applicable).

In accordance with a further aspect of the invention, a metal connection structure having first and second ends respectively connected to a first portion of the planar turn and an end of the stacked segment is arranged so it extends gradually and smoothly without sharp bends between the first and second ends thereof.

Preferably, the stacked segment is located adjacent an interconnection gap between ends of a planar winding. The stacked segment extends in both directions from the gap to compensate low RF coupling from the gap to the plasma.

In one embodiment, the metal connection structure includes (1) a first part that loops from the first end of the planar turn away from the gap so it extends in a direction away from the gap to a point that is farther from the gap than a first end of the stacked segment and (2) a second part that loops back from the point to the first end of the stacked segment. The first end of the metal connection structure preferably extends tangentially relative to the first end of the stacked segment.

The stacked segment includes a second end that defines one of the coil terminals connected to be responsive to current from the RF source.

According to an additional aspect of the invention, a planar turn includes first and second end portions that are spatially close to each other and are spaced by a gap from each other so current flows around the remainder of the planar turn between the first and second end portions. One of the end portions is connected by a radially and circumferentially extending conductive strap to an adjacent turn of the winding. The stacked segment extends across the gap so first and second ends of the stacked segment are on opposite sides of the gap.

According to a first embodiment, first and second ends of the stacked segment are displaced by approximately equal angles from the interconnection gap between adjacent planar turns. The connecting structure is arranged so current first flows back in the direction opposite to the direction of current flow in the planar turn, then turns direction gradually following the gradually bent connection structure, and eventually flows in the same direction as the original current flow in the planar turn.

According to a second embodiment, the first and seconds ends of the stacked segment are arranged so the second end is displaced circumferentially across the gap interconnecting adjacent turns and extends substantially greater than the angular displacement of the gap to compensate low RF coupling from the gap region to the plasma. Preferably, the stacked segment has the second end of the stacked segment vertically overlaying the first end of the planar turn. The second end of the stacked segment can be connected to the first end of the planar turn via a short, straight connection so current continues to flow in the same direction in the planar turn.

The above and still further objects, features and advantages of the present invention will become apparent upon consideration of the following detailed descriptions of several specific embodiments thereof, especially when taken in conjunction with the accompanying drawings.

Brief Description of the Drawing

Fig. 1 is a schematic diagram of a vacuum plasma processor of the type employed in connection with the present invention;

5 Fig. 2 is a top view of one embodiment of an RF excitation coil for use in the processor of Fig. 1;

Fig. 3 is a cross sectional view taken through the lines 3-3 of Fig. 2;

Fig. 4 is a side sectional view taken through the marks on Fig. 2;

Fig. 5 is a side sectional view taken through the marks on Fig. 2;

10 Fig. 6 is a perspective view of a portion of the coil illustrated in Figs. 2-5;

Fig. 7 is a side view of the coil of Fig. 2 in combination with metal straps connected between terminals of the coil and terminals of a housing including an RF source for the coil;

15 Fig. 8 is a top view of a second embodiment of an RF excitation coil for use in the processor of Fig. 1.

Fig. 9 is a side view of a portion of the coil of Fig. 8; and

Fig. 10 is a side view of a portion of a coil that is a modification of the coil of Fig. 8.

20 Detailed Description of the Drawing

The vacuum plasma workpiece processor of Fig. 1 of the drawing includes vacuum chamber 10, shaped as a cylinder having grounded metal wall 12, metal bottom end plate 14, and circular top plate structure 18, consisting of a dielectric window structure 19 having the same thickness from its center to its periphery. Sealing of vacuum chamber 10 is provided by conventional gaskets (not shown).

25 The processor of Fig. 1 can be used for etching a semiconductor, dielectric or metal substrate or for depositing materials on such substrates.

A suitable gas that can be excited to a plasma state is supplied to the interior of chamber 10 from a gas source (not shown) via port 20 in side wall 12 and further distributed uniformly through a gas distribution mechanism (not shown). The interior of the chamber is maintained in a vacuum condition, at a pressure that can vary in the range of 1-1000 milliTorr, by a vacuum pump (not shown) connected to port 22 in end plate 14.

5 The gas in chamber 10 is excited by a suitable electric source to a plasma having a controlled spatial density. The electric source includes a planar or spherical or dome like coil 24, mounted immediately above window 19 and excited by variable power RF generator 26, typically having a fixed frequency of 13.56 MHz.

10 Impedance matching network 28, connected between output terminals of RF generator 26 and excitation terminals of coil 24, couples RF power from the generator to the coil. Impedance matching network 28 includes variable reactances which controller 29 varies in a known manner in response to indications of the 15 amplitude and phase angle of the voltage reflected to the input terminals of the matching network, as sensed by detector 43. Controller 29 varies the values of the reactances in network 28 to achieve impedance matching between source 26 and a load including coil 24 and the plasma load the coil drives.

20 Controller 29 also responds to input device 41 to control variable reactances coupled to coil 24. Input device 41 can be a manual device, such as a potentiometer or keys of a key pad, or a microprocessor responsive to signals stored in a computer memory for different processing recipes of workpiece 32. Variables of the recipes include (1) species of gases flowing through port 20 into chamber 10, (2) pressure in chamber 10 controlled by the vacuum pump connected to port 22, (3) the total 25 output power of RF source 26, which is substantially equal to the power supplied to coil 24, and (4) the values of capacitors connected to coil 24.

Workpiece 32 is fixedly mounted in chamber 10 to a surface of workpiece holder (i.e., platen or chuck) 30; the surface of holder 30 carrying workpiece 32 is parallel to the surface of window 19. Workpiece 32 is usually electrostatically

10

clamped to the surface of holder 30 by a DC potential that a DC power supply (not shown) applies to a chuck electrode (not shown) of holder 30. RF source 45 supplies a radio frequency electromagnetic wave to impedance matching network 47 that includes variable reactances (not shown). Matching network 47 couples the output of source 45 to holder 30. Controller 29 responds to signals that amplitude and phase detector 49 derives to control the variable reactances of matching network 47 to match the impedance of source 45 to the impedance of an electrode (not shown) of holder 30. The load coupled to the electrode in holder 30 is primarily the plasma in chamber 10. As is well known the RF voltage that source 45 applies to the electrode of holder 30 interacts with charge particles in the plasma to produce a DC bias on workpiece 32.

Surrounding coil 24 and extending above top end plate 18 is a metal tube or can-like shield 34 having an inner diameter somewhat greater than the inner diameter of wall 12. Shield 34 decouples electromagnetic fields originating in coil 24 from the surrounding environment. The diameter of cylindrically shaped chamber 10 defines the boundary for the electromagnetic fields generated by coil 24. The diameter of dielectric window structure 19 is greater than the diameter of chamber 10 to such an extent that the entire upper surface of chamber 10 is comprised of dielectric window structure 19.

The distance between the treated surface of workpiece 32 and the bottom surface of dielectric window structure 19 is chosen to provide the most uniform plasma flux on the exposed, processed surface of the workpiece. For a preferred embodiment of the invention, the distance between the workpiece processed surface and the bottom of the dielectric window is approximately 0.2 to 0.4 times the diameter of chamber 10.

Coil 24 can include either one winding or plural parallel windings. In either arrangement, each winding is electrically long enough at the 13.56 MHz frequency of source 26 to function as a transmission line having a total electric length of about 30° to 45° to produce standing wave patterns along the length of the winding. The

11

standing wave patterns result in variations in the magnitude of standing wave RF voltages and currents along the lengths of the windings. The dependence of the magnetic fluxes generated by the windings on the magnitude of these RF currents results in different plasma density being produced in different portions of chamber 5 10 beneath different windings of coil 24.

The variations in the RF current magnitude flowing in different parts of coil 24 are spatially averaged to assist in controlling plasma density spatial distribution. Spatially averaging these different current values can substantially prevent azimuthal asymmetries in the plasma density, particularly at regions of 10 RF current in the windings. Alternatively, the frequency of generator 26 is 4.0 MHz, in which case the windings of coil 24 are electrically short, about 10° to 15°, causing the standing wave currents and voltages in the windings to be substantially constant.

Reference is now made to Fig. 2 of the drawing, a top view of one configuration of coil 24, Fig. 1. Coil 24 includes a single winding having three concentric turns 101, 102 and 103, all of which are a sector of a circle and lie in the same plane. Turns 101-103 are concentric with coil center axis 105, with turns 101, 102 and 103 having progressively larger radii. Each of turns 101-103 has an angular length that is about 340°, i.e. slightly less than one full revolution of a circle. Adjacent ends of turns 101, 102 and 103 are respectively interconnected to each other by straight radially and circumferentially extending winding segments 107 and 109, such that the inner and outer ends of segment 107 are 20 respectively connected to adjacent ends of interior turn 101 and central turn 102, while the inner and outer ends of segment 109 are respectively connected to adjacent ends of central turn 102 and exterior turn 103. The other end of interior turn 101 includes terminal 111, connected by an appropriate cable or strap 180 to the RF voltage output terminal of matching network 28.

The other end terminal 113 of exterior turn 103 is connected in series with stacked coil segment 115 by sheet metal strap, i.e. lead, 117 made of silver plated

12

5 copper. Stacked segment 115 (1) has an arc length of approximately 120°, (2) is shaped as a sector of a circle having a radius equal to the radius of turn 103, and (3) overlies and is aligned with a 120° sector of turn 103. Sector 115 extends for approximately 60° in each direction from y axis 120 of coil 24; y axis 120 is defined as a line extending through the coil center axis 105, and is equidistant from the ends of a 20° gap in turn 103 between first and second end portions of turn 103, that are spatially close to each other. Stacked segment 115 is positioned in a plane above and parallel to the plane of turns 101-103.

10 Preferably, each of turns 101-103 has a rectangular cross-section, such that the width of each cross-section is approximately 1.0 cm and the height of each cross-section is approximately 1.6 cm. Each of turns 101-103 is preferable made of silver coated copper and has a hollow center 124 through which cooling fluid flows, as illustrated in Fig. 3. Stacked segment 115 is preferably made of silver coated copper and has a solid rectangular cross-section, with a width of about 1.0 cm and a height of about 0.6 cm.

15 Dielectric support block 119 fixedly positions stacked segment 115 in a plane parallel to and above the plane of turns 101-103. Dielectric support block 119 has a generally rectangular shape and includes notches 121 and 123 into which the top and bottom portions of turn 103 and segment 115 respectively fit.

20 Segment 115 includes terminals 125 and 127, respectively positioned at equal angular displacements to the left and right of y axis 120, as illustrated in Fig. 2. Hence, terminal 125 is above the portion of turn 103 spaced about 50° from end terminal 113 of turn 103, while terminal 127 is above the portion of turn 103 spaced about 50° from the point of turn 103 connected by segment 109 to turn 102. One end of silver plated, copper sheet metal strap (i.e. lead) 128 is connected to terminal 127 and extends tangentially from the end of portion 115 where terminal 127 is located to assist in electromagnetic field distribution. The 25 other end of strap 128 is connected to ground via termination capacitor 129.

The strap forming lead 117 includes portion 116 having a first end that initially extends away from the coil x and y axes 120 and 122, i.e. outwardly from terminal 113. Then portion 116 extends both vertically and substantially parallel to turn 103 and stacked segment 115 beyond terminal 125. Strap 117 also includes portion 118 that loops back toward turn 103, segment 115 and terminal 125. Portion 118 or 128 extends along a line tangent to a portion of segment 115 where terminal 125 or 127 is located as indicated in Figs. 4 and 5. The second end of strap 117, at the end of portion 118, is mechanically and electrically connected to terminal 125 and the first end of the strap is mechanically and electrically connected to terminal 113. As illustrated in Fig. 6, the strap forming lead 117 is twisted and resembles a Mobius loop that is not completely closed.

Stacked segment 113 increases the inductive RF coupling to the region of the plasma aligned with the stacked segment to improve the azimuthal, plasma uniformity and correct azimuthal asymmetries due to the chamber and coil not being perfectly symmetric, e.g., in the gap between opposite ends of turn 103. The position of stacked segment 115, the arc length of the stacked segment between terminals 125 and 127, and spacing between stacked segment 115 and the planar turn 103 are preferably selected for each chamber configuration to optimize the RF coupling to a particular region of plasma.

The configurations of stacked segment 115 and the strap forming lead 117 are desirable because the fields resulting from the current in portion 116 that is vertically bent away from turn 103 only slightly perturb the fields produced by the stacked segment and turn 103 and fields resulting from the current in portion 118 add constructively to other fields the coil produces. The configuration of the strap forming lead 117 is such that the current flowing from terminal 113 to terminal 125 does not produce an electromagnetic field that materially subtracts from the fields resulting from the combined effects of the currents flowing in the superimposed portion of turn 103 and segment 115 even though the current flowing through the portion 116 of strap 117 flows opposite to the currents

flowing in the portions of turn 103 and stacked segment 115 between terminals 125 and 113. Portion 118 of strap 117 that is above the stacked segment 115 is substantially aligned with segment 115 such that portion 118 of strap 117 produces magnetic fluxes that are additive to the fluxes produced by the segment 115 and the overlapping portions of turn 103 beneath segment 115.

5 The frequency of source 26 and the length of coil 24 are preferably such that the coil is electrically short compared to a wavelength of RF source 26, (e.g. 20°-30° and no more than 45°). Hence, the current always flows in the same direction throughout coil 24, between terminal 111 and terminal 127. By
10 appropriately selecting the value of capacitor 129, the amplitudes of standing wave currents at terminals 111 and 127 are approximately equal and there is a standing wave current peak amplitude in the center of coil 24, at a point equidistant from terminals 111 and 127.

15 The shape of strap 117, involving a smooth and gradual transition in height from turn 103 to segment 115, without any sharp bends between opposite ends of the strap, causes a gradual change of inductive coupling between turn 103 and segment 115 and does not disturb the coil electromagnetic field distribution.
20 If turn 103 and segment 115 were connected by straps or other conductors that extended vertically directly between the winding and the segment, i.e. at a right angle to the plane of turns 101-103, there would be abrupt inductive coupling changes and substantial disturbances of the coil electromagnetic field distribution. These adverse effects would occur because turn 103 and segment 115 have the
25 same RF current flowing through them and the strap connecting them (at right angles to the plane of turns 101-103) would produce a magnetic field which would orthogonally obstruct the field produced by turns 101-103 and segment 115

As illustrated in Fig. 7, coil terminals 111 and 127 are connected respectively by metal straps 128 and 180 to ground through capacitor 129 and the output terminal of matching network 28, both located in a housing above coil 24. Many of the same advantages are provided by the smooth and gradual way

(without sharp bends) strap 128 is connected between terminal 127 and capacitor 129. Opposite ends of strap 180 are connected to terminal 111 and the output terminal of matching network 28 in the same way as strap 128 and terminal 127 are connected to provide the same results.

5 A stacked coil arrangement similar to the coil arrangement of Figs. 2-6 can also be employed with a coil including two parallel, concentric windings driven in parallel by the RF output of matching network 28. Such a coil is illustrated in Fig. 8 as including interior and exterior multi-turn, approximately equal length windings 130 and 132, that are concentric with coil axis 140. The principle of operation of the multiple coils (or plural windings) is discussed in 10 Chen et al, U.S. Patent 6,164,241. Further details of operation of the coil without the stacked segment 164 shown in Fig. 8 can be also found in our co-pending application entitled "Inductive Plasma Processor Having Coil with Plural Windings and Method of Controlling Plasma Density," (LHGB Docket 2328-050 filed concurrently with the present application) which includes details of the 15 matching network and tuning and controlling arrangements that are similar or identical to the matching network 28 and the tuning and controlling arrangements used for the coil in Fig. 8.

20 Winding 130 includes three turns 134, 136 and 138, each of which lies along a sector of a separate circle that is concentric with axis 140; the circles have different radii. Interior turn 134 and exterior turn 138 respectively include input excitation terminal 142 and output excitation terminal 144. Terminal 142 is connected to the power output terminal of matching network 28 by strap 143 while terminal 144 is connected by strap 145 to ground through a termination 25 capacitor 146. It is to be understood that these connections can be reversed so terminal 142 is connected to ground through a termination capacitor and terminal 144 is connected to matching network 28. Straps 143 and 145 have the same configuration as strap 128. The ends of turns 134 and 138 are respectively

connected to opposite ends of turn 136 by straight radially and circumferentially extending segments 148 and 150 of winding 130.

Winding 132 includes exterior turn 152 and interior turn 154 respectively including input excitation terminal 156 and output excitation terminal 158. Terminal 156 is connected by strap 157 to the power output terminal of matching network 28, while terminal 158 is connected by strap 159 to the ground via termination capacitor 160, or vice versa. Straps 157 and 159 have the same configuration as strap 128. Turnings 152 and 154 are connected to each other by straight circumferentially and radially extending coil segment 162. Turns 152 and 154 are concentric with coil axis 140 and spaced by different radii from axis 140. All of turns 134, 136, 138, 152 and 154 of the coil of Fig. 8 are substantially planar and have a cross-section the same as the cross-sections of turns 101-103, as illustrated in Fig. 3. The interconnection segments 148 and 150 in interior winding 130 are preferably aligned in a radial direction opposite to the segment 162 of exterior turn 152, to minimize the radial asymmetric effect of RF coupling on the plasma.

The coil of Fig. 8 includes arcuate segment 164 that is stacked above the plane of turn 152 and extends through an arcuate length of approximately 150°. Stacked segment 164 preferably has a solid cross section and is configured the same as stacked segment 115, as illustrated in Fig. 3. Segment 164 is held in place above a portion of turn 152 by a structure identical to structure 119, Figs. 3-5. Stacked segment 164 is a sector of a circle having the same radius as turn 152, with a center at axis 140 so it is aligned with turn 152. One end of segment 164 includes terminal 156 connected to the power output terminal of matching network 28 by metal strap 157. A first end of strap 157, connected to terminal 156, extends (1) tangentially from the portion of segment 164 where terminal 156 is located and (2) in substantially the same plane as the top of the segment. Thence, strap 157 extends in a gradual and smooth manner (1) inwardly of winding 132 and (2) upwardly similar to the way a spiral staircase increases in

height. A second, opposite end of strap 157 is connected to the RF output terminal of impedance matching network 28. Strap 143 also extends in a smooth and gradual manner, similar to a spiral staircase, between terminal 142 and the RF output terminal of impedance matching network 28.

5 The end of stacked segment 164 opposite from terminal 156 is substantially aligned with the end of turn 152 and is electrically and mechanically connected to turn 152 by a vertically extending metal screw 166 and a metal spacer 168 at the end of turn 152, where there is no hollow cross section and a threaded hole in turn 152 can be made either completely through or deep enough, as illustrated in Fig. 9. Spacer 168 is preferably made of silver-plated copper while screw 166 is made of silver-plated stainless steel or brass to provide good mechanical strength. By tightening screw 166, current continuously flows from segment 164 through screw 166 and spacer 168 to turn 152.

10 As a further alternative, as illustrated in Fig. 10, segment 164 includes metal strap 170 and solid metal portion 172. Opposite ends of strap 170 are respectively connected to the end of turn 152 and a first end of solid metal portion 172 that extends in a plane parallel to turn 152 and is supported by block 119. Metal strap 170 extends smoothly and gradually between the ends of turn 152 and the first end of solid metal portion 172.

15 20 In operation, the coil of Fig. 8 has a relatively short electric length, i.e., the frequency of source 26 (e.g., 4 MHz) and the lengths of windings 130 and 132 are such that the standing wave current in each of windings 130 and 132 is approximately 20° to 30° in electrical length. Consequently, there are no substantial standing wave current and voltage wave variations along the lengths of windings 130 and 132. The positions of input terminals 142 and 156, which are driven in parallel by the RF output terminal of network 28, and the short electrical lengths of the windings are such that RF currents along the same azimuthal angles of turns 134, 136, 138, 152 and 154 flow in substantially the same direction. The value of termination capacitors 146 and 160 are respectively selected to adjust the

overall impedances of windings 130 and 132 to control the current in each winding, i.e., the lower the impedance is, the higher the current is.

Because the magnitude and direction of the current flowing in the segment of turn 152 below stacked segment 164 is about the same as in the stacked segment, the magnetic field resulting from current flowing through stacked segment 164 aids the magnetic field resulting from the current flowing through the portion of turn 152 aligned with stacked segment 164. Overall, the coil produces electromagnetic field distributions that can be altered azimuthally to correct or compensate plasma azimuthal non-uniformity to a substantial extent.

While there have been described and illustrated specific embodiments of the invention, it will be clear that variations of the details of the embodiments specifically illustrated and described may be made without departing from the true spirit and scope of the invention as defined in the appended claims. For example, many of the principles of the invention are not limited to coils having one or two windings but are applicable to coils having three or more windings.

WE CLAIM:

1. A radio frequency plasma excitation coil for a vacuum plasma processor, the coil being arranged to be positioned above a window of a vacuum chamber of the processor, the coil comprising at least one winding having multiple turns, at least one of the turns being substantially planar, a segment stacked with a portion of the one turn so it is spaced from the plane of the one turn, the stacked segment being connected in series with the one turn so the same current flows in the same direction through the one turn and the stacked segment.
2. The coil of claim 1 wherein the segment includes a first terminal for connection to a terminal of an excitation source or to ground through a termination capacitor and a second terminal connected to the one winding.
3. The coil of claim 2 wherein the second terminal is connected to a portion of the one turn substantially aligned with the second terminal.
4. The coil of claim 2 wherein the second terminal is connected to a portion of the one turn overlaid by a portion of the stacked segment between the first and second terminals of the stacked segment.
5. The coil of claim 4 further including a metal lead establishing the connection between the stacked segment and the portion of the one turn, the metal lead including a loop having first and second parts respectively connected to the second terminal and the portion of the one turn, the first part of the loop being generally aligned with some of the one turn and extending from the second terminal, the second part of the loop being generally misaligned from the one turn.
6. The coil of any of claims 1-5 wherein at least one of the coil and chamber have a geometry tending to cause the plasma density to have an azimuthal asymmetrical distribution, the stacked segment being positioned to increase inductive coupling from the coil to a particular region of the plasma to reduce the azimuthal asymmetrical distribution.
7. A radio frequency excitation coil arrangement for a vacuum plasma workpiece processor, the coil arrangement being adapted to be positioned outside a planar window of a vacuum chamber of the processor and in sufficient proximity to the window to couple electromagnetic energy into the chamber through the window, the coil arrangement comprising at least one winding, opposite first and second ends of the winding being planar, the winding when positioned outside the window to couple electromagnetic energy into the chamber being positioned so the

opposite ends thereof extend substantially parallel to the planar window, first and second excitation terminals providing connections for current flowing between an RF plasma excitation source and the opposite ends of the winding, a first metal connection structure having a first end connected to the first excitation terminal and a second end connected to the first end of the winding, a second metal connection structure having a first end connected to the second excitation terminal and a second end connected to the second end of the winding, the first and second metal connecting structures extending gradually and smoothly without sharp ends between the ends thereof.

8. The radio frequency excitation coil arrangement of claim 7, wherein the ends of the connection structures connected to the ends of the winding are coplanar with the ends of the winding.

9. The radio frequency excitation coil arrangement of claim 7 or 8 wherein the winding includes at least one planar turn, the winding when positioned outside the window to couple electromagnetic energy into the chamber being positioned so the planar turn extends substantially parallel to the planar window, the winding including a segment stacked with respect to a portion of the planar turn, the stacked segment being displaced from the plane of the planar turn, the stacked segment having a first end, the planar turn having a first end, a third metal connection structure having first and second ends respectively connected to the first end of the stacked segment and to the first end of the planar turn, the third metal connecting structure extending gradually and smoothly without sharp bends between the ends thereof.

10. A radio frequency excitation coil for a vacuum plasma workpiece processor, the coil being arranged to be positioned above a window of a vacuum chamber of the processor, the coil comprising at least one winding having multiple turns, at least one of the turns being substantially planar, a segment stacked with a portion of the planar turn so the segment is spaced from the plane of the planar turn, the stacked segment being connected with the planar turn, a metal connection structure having first and second ends respectively connected to a first portion of the planar turn and an end of the stacked segment, the connection structure being arranged so it extends gradually and smoothly without sharp bends between the first and second ends thereof.

11. The coil of claim 10 wherein the first portion of the planar turn is at a first end of the planar turn.

12. The coil of claim 10 or 11 wherein the stacked segment extends across an interconnection gap between two planar turns of the winding and in opposite directions from the gap.
13. The coil of any of claims 10-12 wherein the metal connection structure loops from the first end of the planar turn away from the gap.
14. The coil of any of claims 10-12 wherein the metal connection structure loops from the first end of the planar turn away from the gap so it extends in a direction away from the gap to a point that is farther from the gap than the end of the stacked segment.
15. The coil of any of claims 10-14 wherein the second end of the metal connection structure extends tangentially relative to the end of the stacked segment.
16. A radio frequency excitation coil for a vacuum plasma workpiece processor, the coil being arranged to be positioned above a window of a vacuum chamber of the processor, the coil comprising at least one winding having multiple turns, at least one of the turns being substantially planar, a segment stacked with a portion of the planar turn so it is spaced from the plane of the planar turn, the stacked segment being connected with the planar turn, the planar turn including first and second end portions that are spatially close to each other and spaced by a gap from each other, the stacked segment extending across the gap so first and second ends of the stacked segment are on opposite sides of the gap.
17. The coil of claim 16 wherein the first and second ends of the stacked segment are displaced by approximately equal angles from the gap.
18. The coil of claim 16 wherein the first and second ends of the stacked segment are arranged so the second end has an angular displacement from the gap that is substantially greater than the angular displacement from the gap of the first end.
19. The coil of any of claims 16-18 wherein the stacked segment is arranged and the first end thereof is connected to the first end of the planar turn for causing current to flow between the first end of the stacked segment and a portion of the stacked segment overlying the gap in the same direction that current flows in the planar turn between a portion of the planar turn overlaid by the first end of the stacked segment and the first end of the planar turn.
20. The coil of claim 19 wherein the connection between the first end of the planar turn and the first end of the stacked segment is provided by a

WO 02/030219

22

PCT/US02/09563

connecting structure that extends gradually and smoothly without sharp bends between the first end of the planar turn and the first end of the stacked segment.

21. The coil of claim 20 wherein the connecting structure is arranged for causing current in a first portion thereof extending spatially between the first end of the planar turn and a region above the plane of the planar turn aligned with the first end of the stacked segment to flow in a direction opposite to the direction of current flow in the planar turn between the portion of the planar turn overlaid by the first end of the stacked segment and the first end of the planar turn.

22. The coil of claim 20 wherein the connecting structure and the stacked segment are arranged for causing current to flow therein in the same direction as current flows in the portions of the planar turn that are overlaid by the connecting structure and the stacked segment on both sides of the gap.

23. The coil of claim 19 wherein the connection between the first end of the planar turn and the first end of the stacked segment is provided by a connecting structure, the connecting structure being arranged for causing current in a first portion thereof extending spatially between the first end of the planar turn and a region above the plane of the planar turn aligned with the first end of the stacked segment to flow in a direction opposite to the direction of current flow in the planar turn between the portion of the planar turn overlaid by the first end of the stacked segment and the first end of the planar turn.

24. The coil of claim 19 wherein the stacked segment is connected to the first end of the planar turn for causing current to flow in the stacked segment in the same direction as current flows in the portions of the planar turn that are overlaid by the connecting structure and the stacked segment on both sides of the gap.

25. A vacuum plasma workpiece processor including the coil of any of claims 1-24, the coil being positioned outside the chamber and in proximity to the window.

WO 02/080219

PCT/US02/09563

1/7

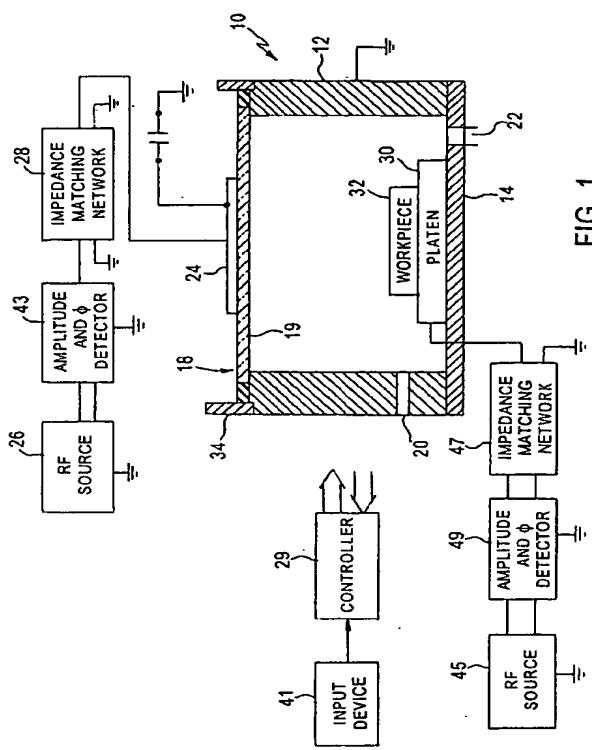


FIG. 1

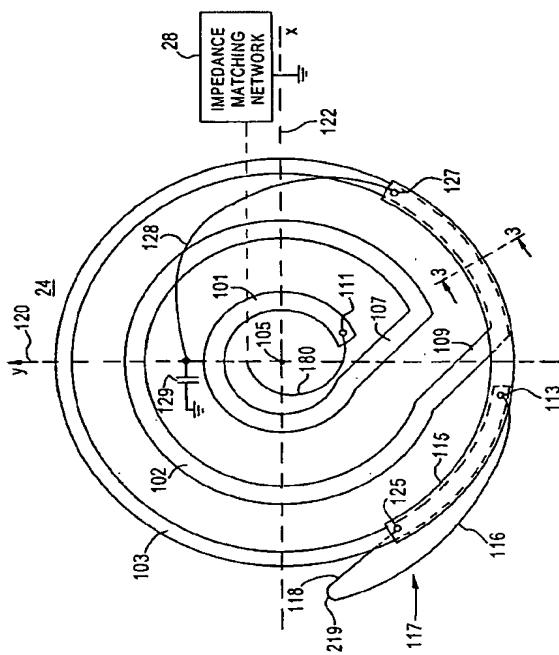


FIG. 2

WO 02/080219

PCT/US02/09563

3/7

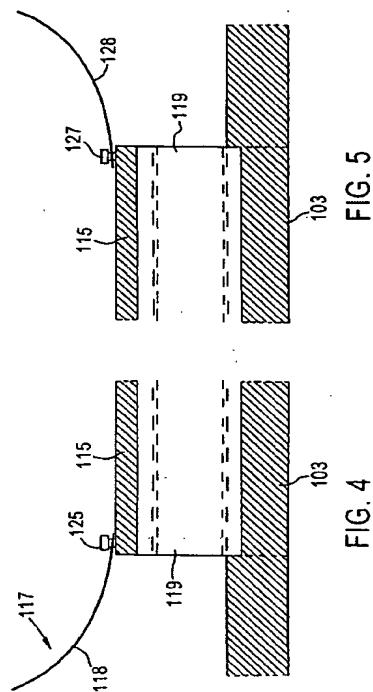
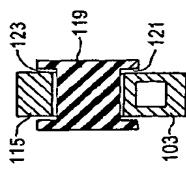


FIG. 5

FIG. 4

WO 02/090219

PCT/US02/09563

4/7

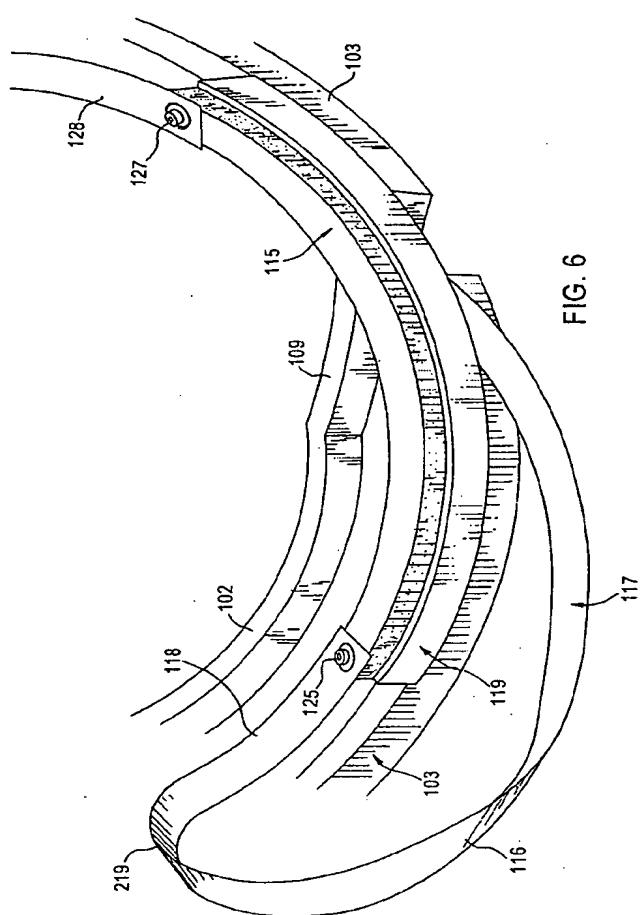


FIG. 6

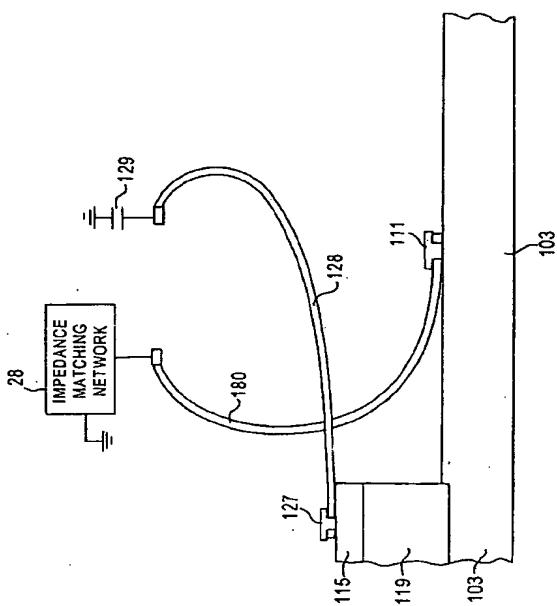


FIG. 7

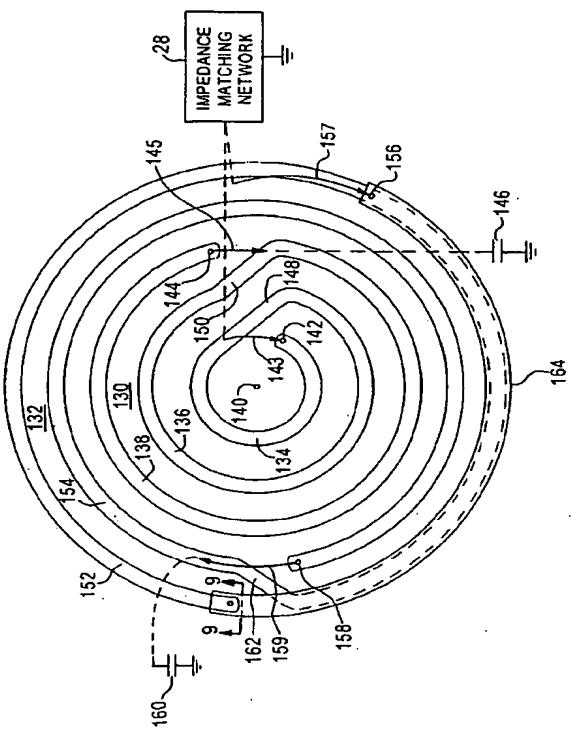


FIG. 8

WO 02/080219

PCT/US02/09563

7/7

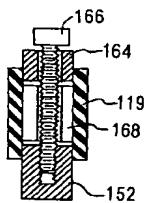


FIG. 9

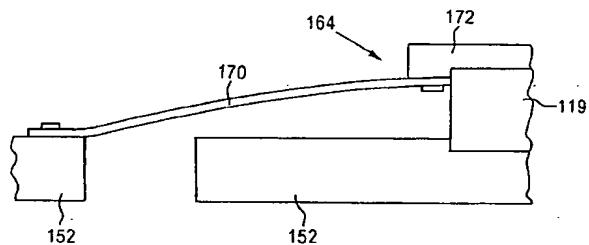
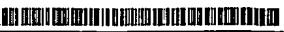


FIG. 10

WO 02/080219 A1 

Date of publication of the amended claims: 5 December 2002

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/US 02/09563
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H01J37/32		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (Classification system followed by classification symbol) IPC 7 H01J		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (Name of data base and, where practical, search terms used) PAJ, EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Character of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 164 241 A (CHEN JIAN J ET AL) 26 December 2000 (2000-12-26) abstract figures 2B,3,,5,6	1,7,10
A	JP 11 312667 A (MATSUSHITA ELECTRON CORP) 9 November 1999 (1999-11-09) & US 2002/033231 A1 21 March 2002 (2002-03-21) paragraph '0073!; figure 5A	13
P, A		13
X	EP 0 807 953 A (APPLIED MATERIALS INC) 19 November 1997 (1997-11-19) abstract Figures 4A-4E	1
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document not published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubt on priority claims; or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"C" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or sale made prior to the international filing date</p> <p>"D" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"A" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
28 June 2002	10/07/2002	
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. 5813 Patenbach 2 Tel: (+31-70) 340-2060, Fax: 31 651 epo nl Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Centmayer, F	

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inten	al Application No
PCT7US 02/09563	

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6164241	A	26-12-2000	AU 4954499 A EP 1092229 A1 WO 0000993 A1	17-01-2000 18-04-2001 06-01-2000
JP 11312667	A	09-11-1999	JP 2972707 B2 US 6274502 B1 US 2002033231 A1	08-11-1999 14-08-2001 21-03-2002
EP 0807953	A	19-11-1997	US 6165311 A EP 0807953 A1 JP 10092598 A US 6036878 A US 2001042594 A1 US 2001054483 A1 US 6238588 B1 US 6063233 A US 6054013 A US 6095083 A US 6074512 A US 6095084 A US 2002020499 A1	26-12-2000 19-11-1997 10-04-1998 14-03-2000 22-11-2001 27-12-2001 29-05-2001 16-05-2000 25-04-2000 01-08-2000 13-06-2000 01-08-2000 21-02-2002

Form PCT7US/210 (patent family members) (July 1992)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN, TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BC,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE, GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZW

(72)発明者 ロバート ジー ヴェルトローブ

アメリカ合衆国 インディアナポリス州 83616-3992 イーグル エヌ ストーンクレス
スト プレイス 2386

(72)発明者 トーマス イー ヴィッケル

アメリカ合衆国 ネヴァダ州 89511 レーノ フェイアビュー ロード 4430

Fターム(参考) 5F004 AA01 BA20 BB18 CA06

5F045 AA08 BB02 DP02 DQ10 EH02 EH04 EH11 EH20

【要約の続き】

されている。平面旋回(113)および積重ねセグメントの端部は、その両端部間で滑らか、かつゆるやかに急な湾曲部なしに延びるリード線(116)によって接続されている。